



Formation professionnelle 'Sensibilisation à la qualité et à la métrologie'

A. Charki ¹, N. Delelign ², G. Calchera ³

1 – CAFMET (Comité Africain de Métrologie)

2 – QuaRES (Qualité en Recherche et en Enseignement Supérieur)

3 – Cirad (Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement)

FP-SE-Qualité & Métrologie

Version du 16/10/2018

Support établi dans le cadre du projet AFREQEN

Droit d'auteur(s) : les textes sont disponibles sous licence Creative Commons CC-BY-SA (attribution, partage des conditions initiales à l'identique). En cas réutilisation des textes de cette page, voyez comment citer des auteurs et mentionner la licence et le nom du projet AFREQEN.



CAFMET

[Espace membres](#) [Newsletters](#)



Comité Africain de Métrologie

Le CAFMET



Dans tous les secteurs d'activités (Tourisme, Energie, Bâtiment, Agro-alimentaire, Pharmaceutique, Santé...), la maîtrise de la qualité et du processus de mesure est essentielle pour le développement économique et industriel des pays africains.

Le CAFMET (Comité Africain de Métrologie), organisme indépendant, a pour objectifs :

- de sensibiliser les organismes (publics ou privés) africains sur l'importance de la qualité et de la métrologie pour le développement durable d'un pays,
- de proposer des formations en management et en métrologie, dispensées par des experts techniques reconnus internationalement,
- de faire reconnaître la compétence des organismes de certification, d'inspection, et des laboratoires par l'assurance de la qualité des services et des résultats qu'ils fournissent.

Retrouvez-nous sur











Accueil

Le CAFMET

Evènements - Activités

Liens utiles

ADHESION

Rencontres Francophones

sur la

QUALITÉ

et la

MESURE

25-28

MARS

NANTES
[FRANCE]

2019

RFQM

**INFOS ET
INSCRIPTIONS**

contact@rfqm2019.com

Tel.+33 2 41 34 09 51

Cell.+ 33 6 73 62 32 62

Conférences
Ateliers
Expositions



www.rfqm2019.com

Objectifs du cours

Sensibiliser à la qualité et à la métrologie

Donner un aperçu de l'utilité et de l'importance de la métrologie dans le domaine de la qualité.

Sommaire

- Contexte et enjeux liés à la métrologie
- Définitions et organisation de la métrologie
- Notions de vocabulaire spécifique à la métrologie
- Notions d'incertitude de mesure
- Déclaration de conformité
- Rôle d'une « Fonction Métrologique »
- Normes et références

Sommaire

- Contexte et enjeux liés à la métrologie
- Définitions et organisation de la métrologie
- Notions de vocabulaire spécifique à la métrologie
- Notions d'incertitude de mesure
- Déclaration de conformité
- Rôle d'une « Fonction Métrologique »
- Normes et références

La qualité

Aptitude à satisfaire les exigences du client

- ↑ Satisfaction de conformité (au contrat ou à l' a priori)
- ↑ Satisfaction d' usage

Capacité à instaurer la confiance

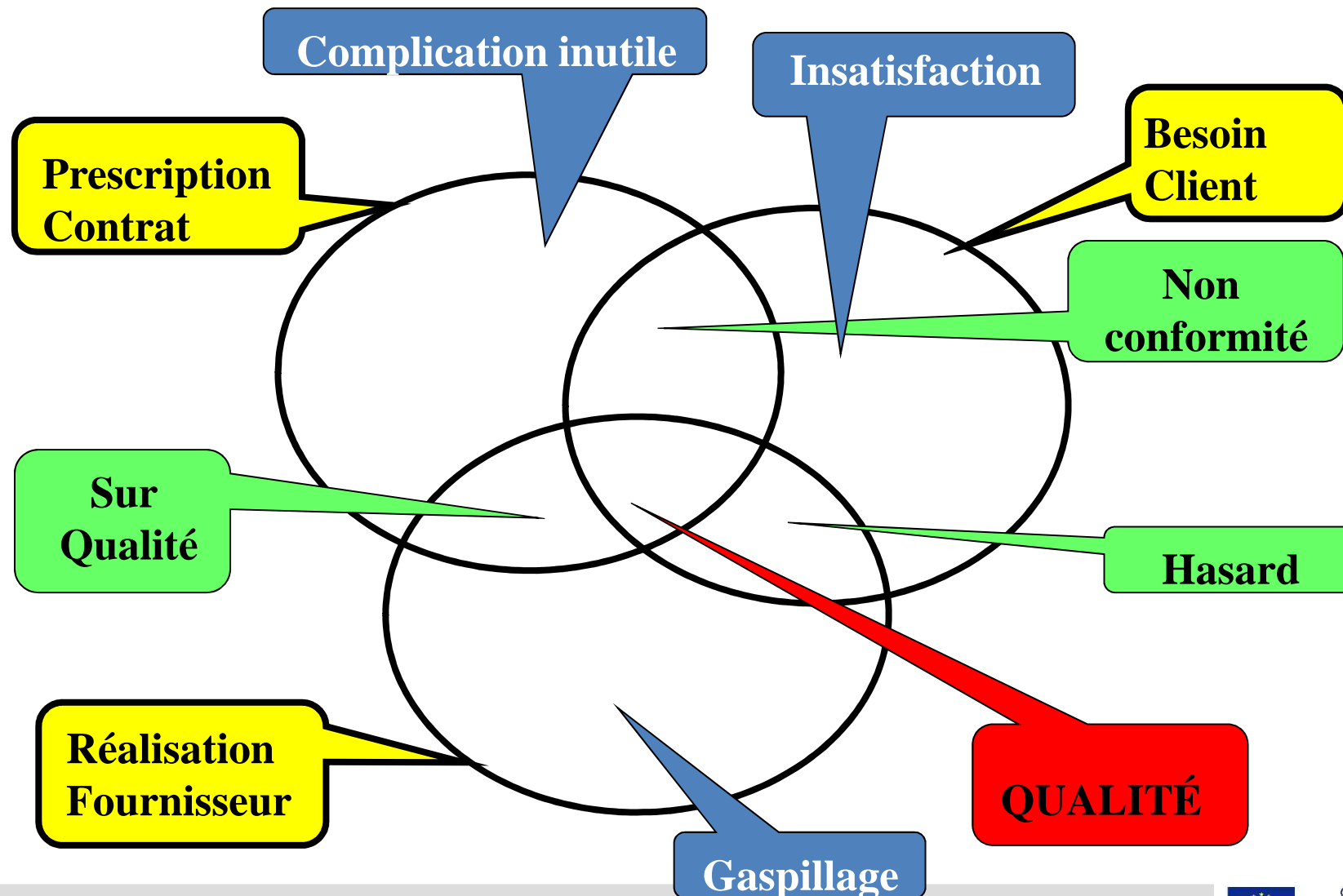
- ↑ Sentiment de sécurité dans la performance d' une entité
- ↑ de sécurité dans des résultats de mesure, contrôle, essais, analyse

-> inspirer confiance (assurer conquête et fidélisation des clients)

-> avoir confiance (dans ses capacités, son organisation, ses résultats)

La mesure permet de fixer des bornes

8



8

La métrologie ?

« La métrologie est la science de la mesure, couvrant toutes les mesures effectuées, à un niveau d'incertitude établi, dans n'importe quel domaine de l'activité humaine. »

Brochure du Système international d'unités, CIPM ed.

La question de confiance

La mesure permet l'échange.

Or l'échange est source de richesse...

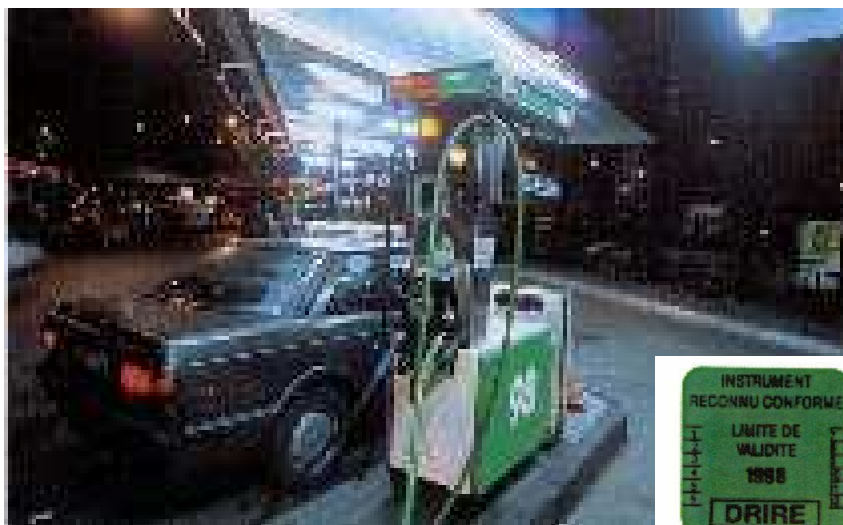
L'échange suppose la sécurité des transactions et la capacité de comparaison ; cette dernière opération est une forme de mesure

ex :

- mesure des grandeurs électriques (mesure physique avec un étalon)

La mesure « objective » : une clef pour les transactions

11



*Un enjeu décisif pour la
loyauté des échanges*

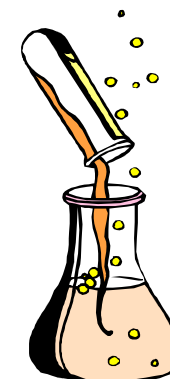


“Les bons comptes font les bons amis.”

11

La mesure est « garante » de la performance sportive

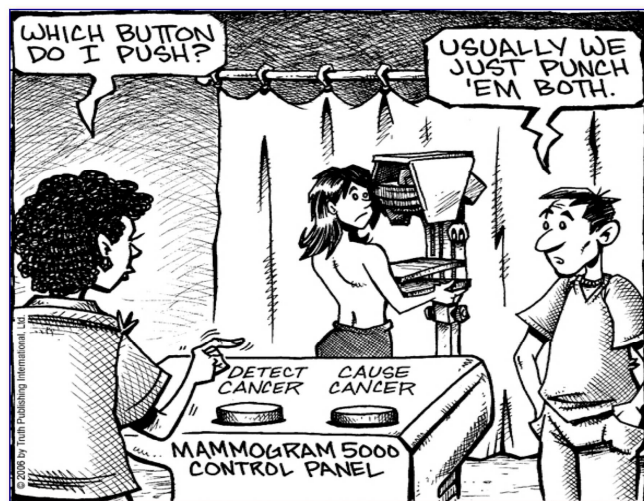
12



12

La mesure « exacte » : une clef pour un monde plus sûr mesure

13



Savoir anticiper les risques

*La mesure permet d'apprécier les risques →
intérêt d'évaluer une incertitude de mesure*

- ☐ L'occurrence
- ☐ La capacité de détection
- ☐ La gravité

Comment construire la confiance dans les résultats I

15

- Définir, puis valider les méthodes de mesure, contrôle, essais, analyse
 - comparaisons intra ou inter-laboratoires
- Contrôler l'organisation de l'environnement de la mesure
 - management de la qualité (ISO 9000:2000, ISO 17025, etc.)
 - certification « tierce partie » : conformité à un référentiel spécifié
- Assurer la traçabilité
 - arrangement de reconnaissance mutuelle et chaînes d'étalonnage
- Evaluer l'incertitude de mesure
 - approche statistique de la mesure (GUM, ISO 5725)
 - niveau de confiance et risque d'erreur

15

Bien mesurer pour bien décider

Un résultat de mesure ou d'essai sert de base pour prendre une décision :
acceptation ou rejet d'un produit, conformité d'un environnement...



Pourquoi des langages normalisés en métrologie ?

La métrologie est un
moyen de communication

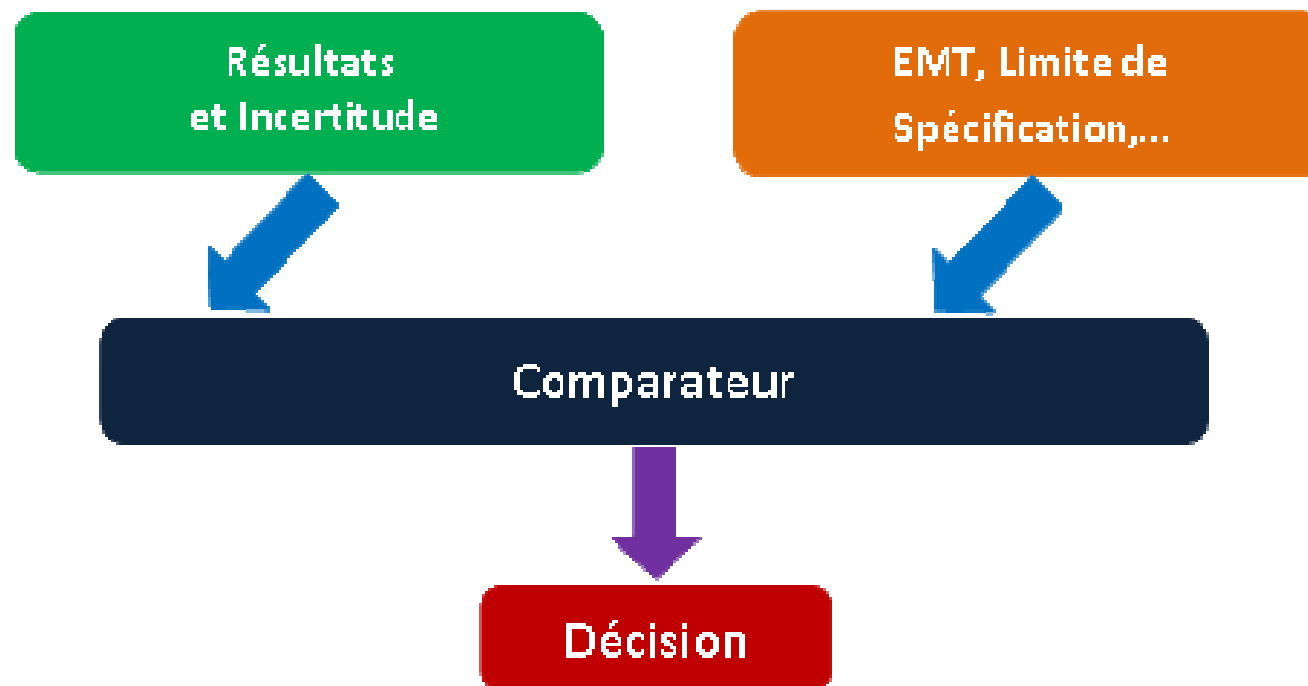


La métrologie apporte une prise de conscience et développe
une forme de philosophie :

Il s'agit de prendre conscience que toutes les mesures qui
nous entourent sont incertaines...

Contexte et enjeux liés à la métrologie

Au résultat de mesure, est associée une incertitude de mesure qui doit être compatible avec l'exigence spécifiée (tolérances) du produit. L'incertitude constitue alors un élément qui permet d'apprécier les risques liés à ces décisions.



Sommaire

- Contexte et enjeux liés à la métrologie
- Définitions et organisation de la métrologie
- Notions de vocabulaire spécifique à la métrologie
- Notions d'incertitude de mesure
- Déclaration de conformité
- Rôle d'une « Fonction Métrologique »
- Normes et références

Définitions et organisation de la métrologie

La Métrologie est la **science** de la mesure associée à l'évaluation de son incertitude.

(Elle embrasse tous les aspects théoriques et pratiques se rapportant aux mesurages à tous les niveaux d'incertitude et dans tous les domaines des sciences et de la technologie).

« La métrologie est la science de la mesure, couvrant toutes les mesures effectuées, à un niveau d'incertitude établi, dans n'importe quel domaine de l'activité humaine. »

Brochure du Système international d'unités, CIPM ed.

Définitions et organisation de la métrologie

Les différents types de métrologie

On distingue couramment trois types de métrologies :

- la métrologie **fondamentale** (ou scientifique), lorsqu'il s'agit des applications de la métrologie au plus haut niveau (étalons primaires, recherche, etc.). *Vise à créer, développer et maintenir des étalons de référence reconnus*
- la métrologie **industrielle**, lorsqu'il s'agit des applications nécessaires ou utiles à l'industrie, notamment des raccordements aux étalons nationaux
- la métrologie **légal**e, lorsque l'on parle de l'ensemble des règles que l'État impose concernant le système d'unités, la production, ou l'utilisation d'instruments de mesure *(l'État se doit de protéger les personnes et les biens en déterminant les obligations auxquelles sont soumis les instruments de mesure et les mesurages, cela afin d'assurer leur fiabilité. C'est l'objet essentiel de la métrologie légale.)*

Définitions et organisation de la métrologie

Détermination de l'erreur d'un EEC (Equipement d'Etalonnage des Compteurs) :

L'erreur d'un EEC neuf, à un point de mesure donné, doit être inférieure à l'erreur ***E_{max}*** du tableau ci-dessous :

Limites admises des erreurs en pourcentage

Classe de compteurs	0,5			1			2		
Facteur de puissance	1	0,5 inductif	0,5 capacitif	1	0,5 inductif	0,5 capacitif	1	0,5 inductif	0,5 capacitif
<i>E_{max}</i>	± 0,10	± 0,15	± 0,20	± 0,20	± 0,30	± 0,40	± 0,30	± 0,45	± 0,60

Définitions et organisation de la métrologie

Bureau International des Poids et Mesures (BIPM):

- Organisation internationale indépendante
- Chargée de créer un ensemble de références précises, acceptées par tout le monde et accessibles dans tous les domaines
- Créé le 20 Mai 1875 sur un accord entre plusieurs pays.
- Les états représentés s'engagent à utiliser et à diffuser le système métrique en vue de concourir à l'uniformité des mesures dans le monde

Organisation Internationale de la Métrologie Légale (OIML):

- Créée en 1955, son siège est situé à Paris
- Chargée d'harmoniser au niveau international les règlements métrologiques, les méthodes et les moyens de contrôle des instruments
- L'OIML produit des recommandations internationales qui définissent les performances à atteindre par les instruments
- Les pays peuvent ensuite fonder leur propre réglementation sur ces recommandations internationales

Définitions et organisation de la métrologie

Système International d'Unités, S.I.

Composé de 7 unités de base:

Le Kilogramme	(kg)
Le Kelvin	(K)
Le Mètre	(m)
La Seconde	(s)
L' Ampère	(A)
La Candela	(cd)
La Mole	(mol)

Définitions et organisation de la métrologie

Grandeur	Unité			
	nom	symbole	expression	
angle plan	radian	rad		1 m/m
angle solide	stéradian	sr		1 m ² /m ²
fréquence	hertz	Hz		1 s ⁻¹
force	newton	N		1 kg.m.s ⁻²
pression, contrainte	pascal	Pa	1 N/m ²	1 kg.m ⁻¹ .s ⁻²
énergie, travail, quantité de chaleur	joule	J	1 N.m	1 kg.m ² .s ⁻²
puissance, flux énergétique	watt	W	1 J/s	1 kg.m ² .s ⁻³
charge électrique, quantité d'électricité	coulomb	C		1 A.s
potentiel électrique, différence de potentiel, tension, force électromotrice	volt	V	1 W/A	1 kg.m ² .s ⁻³ .A ⁻¹
capacité électrique	farad	F	1 C/V	1 kg ⁻¹ .m ⁻² .s ² .A ²
résistance électrique	ohm	Ω	1 V/A	1 kg.m ² .s ⁻³ .A
conductance électrique	siemens	S	1 Ω ⁻¹	1 kg ⁻¹ .m ⁻² .s ³ .A ⁻¹
flux d'induction magnétique	weber	Wb	1 V.s	1 kg.m ² .s ⁻² .A ⁻¹
induction magnétique	tesla	T	1 Wb/m ²	1 kg.s ⁻² .A ⁻¹
inductance	henry	H	1 Wb/A	1 kg.m ² .s ⁻² .A ⁻²
température Celsius	degré Celsius	°C		1 K
flux lumineux	lumen	Lm	1 cd/sr	1 cd.m/m
éclairage	lux	Lx	1 lm/m ²	1 cd.m ⁻²
activité d'un radionucléide	becquerel	Bq		1 s ⁻¹
dose absorbée, énergie massique communiquée, kerma, indice de dose absorbée	gray	Gy	1 J/kg	1 m ² .s ⁻²
équivalent de dose, indice d'équivalent de dose	sievert	Sv	1 J/kg	1 m ² .s ⁻²

Définitions et organisation de la métrologie

Traçabilité :

« Propriété du résultat d'un mesurage ou d'un étalon tel qu'il puisse être relié à des références déterminées, généralement des étalons nationaux ou internationaux, par l'intermédiaire d'une chaîne ininterrompue de comparaisons ayant toutes les incertitudes déterminées ».

Etablie par des raccordements successifs à des *étalons de référence*, jusqu'aux *étalons nationaux*, la traçabilité permet d'assurer la cohérence avec les résultats de mesures qui seraient obtenus à d'autres moments, en d'autres lieux et avec d'autres instruments de mesure.

Afin d'offrir à l'instrumentation la possibilité de se raccorder à une structure officielle couvrant l'ensemble de la métrologie et des mesures, un Organisme National de Métrologie (ONM) doit être mis en place et qui aura la tâche d'élaborer **et de mettre en œuvre les outils permettant d'assurer la cohérence nationale et internationale des mesures.**

Définitions et organisation de la métrologie

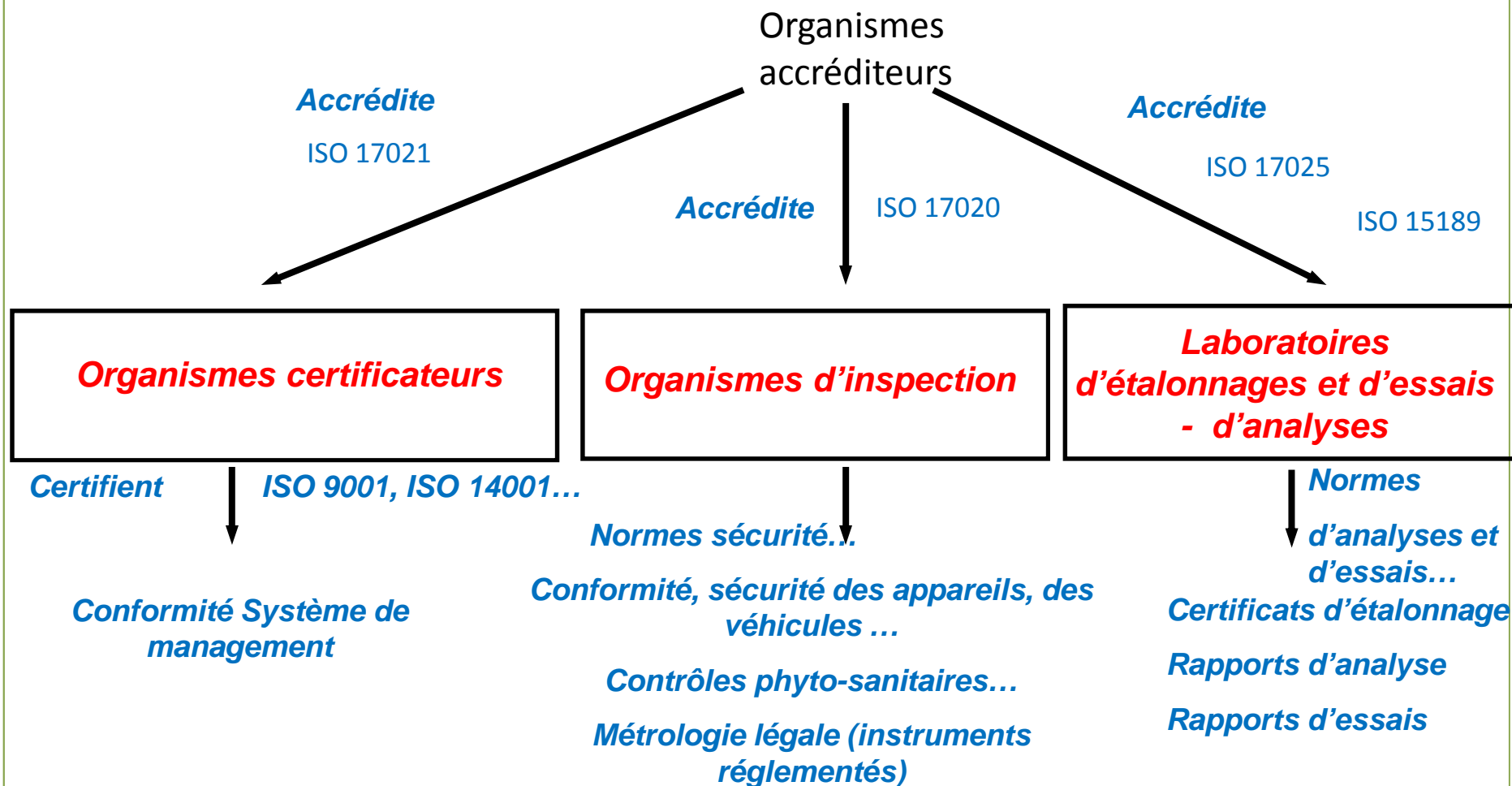
Accréditation consiste en une attestation délivrée par une tierce partie, ayant rapport à un organisme d'évaluation de la conformité, constituant une **reconnaissance formelle de la compétence** de ce dernier à réaliser des activités spécifiques d'évaluation de la conformité.

Certification est une procédure par laquelle une tierce partie donne **une assurance écrite** qu'un produit, un processus ou un service est conforme à des exigences spécifiées.

Exemple d'organismes accréditeurs:

- ☐ TUNAC en Tunisie,
- ☐ ALGERAC en Algérie,
- ☐ SEMAC au Maroc,
- ☐ ...

Comment construire la confiance dans les résultats II



Comment construire la confiance dans les résultats III

*Accréditer, c'est reconnaître après évaluation [technique et organisation] 'tierce partie' la **confiance qu'on peut accorder aux résultats** obtenus*

- > Avoir un accréditeur reconnu par ses paires*
- > Avoir un laboratoire de métrologie reconnu compétent*
- > Avoir une coordination nationale et internationale de la métrologie*



Définitions et organisation de la métrologie

Quelques organismes d'Accréditation en Afrique

En Tunisie: TUNAC (Reconnaissance par l'Organisation Européenne d'Accréditation-EA-et par l'Organisation Internationale des Accréditeurs de Laboratoire-ILAC-).



En Algérie : ALGERAC Reconnu EA-ILAC



Au Maroc : SEMAC



En Afrique du Sud : SANAS - South African National Accreditation System



AFRAC : couvre la région Afrique pour l'accréditation des laboratoires d'étalonnage et des organisateurs de programmes d'essais d'aptitude

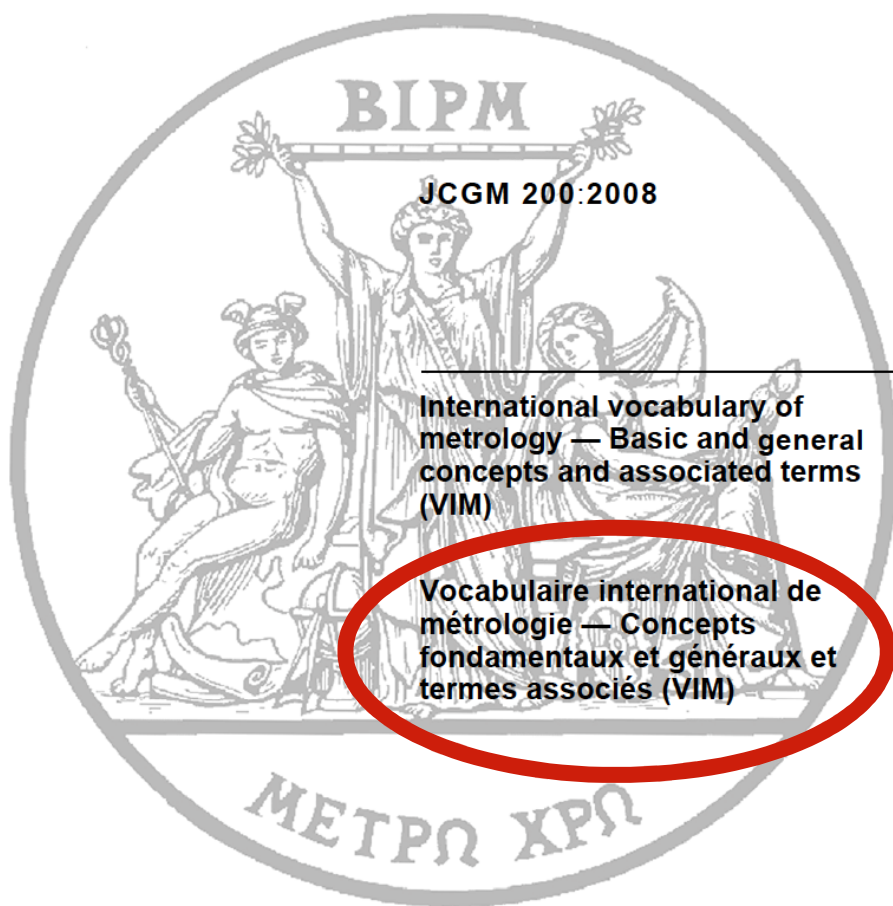


SOAC : Système Ouest Africain d'Accréditation

Sommaire

- Contexte et enjeux liés à la métrologie
- Définitions et organisation de la métrologie
- Notions de vocabulaire spécifique à la métrologie
- Notions d'incertitude de mesure
- Déclaration de conformité
- Rôle d'une « Fonction Métrologique »
- Normes et références

Notions de vocabulaire spécifique à la métrologie



Métrologie ?

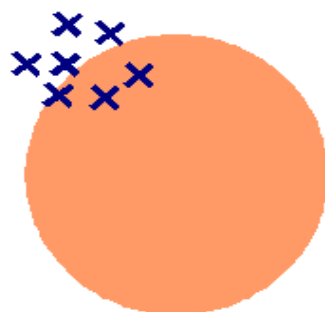
Notions de vocabulaire spécifique à la métrologie

Vocabulaire associé à l'Instrument de Mesure

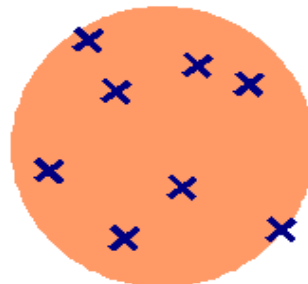
Exactitude : Aptitude d'un instrument de mesure à donner des réponses proches d'une valeur vraie.

Fidélité : Aptitude d'un instrument de mesure à donner des indications très voisines lors de l'application répétée du même mesurande dans les mêmes conditions de mesure.

Justesse : Aptitude d'un instrument de mesure à donner des indications exemptes d'erreurs systématiques.



Fidélité



Justesse



Exactitude

Instrument de mesure
juste et fidèle

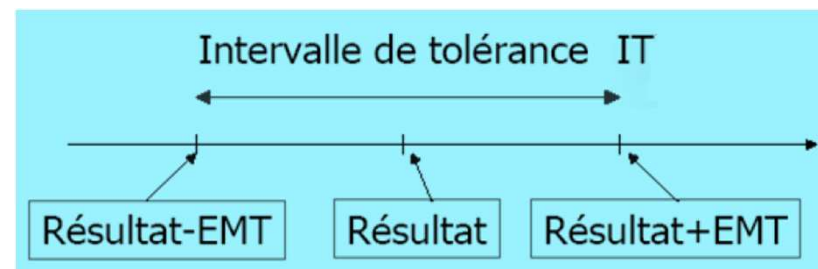
Notions de vocabulaire spécifique à la métrologie

Condition de référence : Conditions d'utilisation prescrites pour les essais de fonctionnement d'un instrument de mesure pour l'inter-comparaison de résultats de mesure.

Résolution : La plus petite différence d'indication d'un dispositif afficheur qui peut être perçue de manière significative.

Dérive : Variation lente d'une caractéristique métrologique d'un instrument.

Erreur Maximale Tolérée EMT : Valeurs extrêmes d'une erreur tolérée par les spécifications, règlements, etc..., pour un instrument de mesure donné.



Notions de vocabulaire spécifique à la métrologie

Vocabulaire associé à la mesure

Mesurage : Ensemble des opérations ayant pour but de déterminer une valeur d'une grandeur.

Mesurande : Grandeur particulière soumise à un mesurage.

Valeur Vraie : Valeur compatible avec la définition d'une grandeur particulière donnée.

Exactitude de Mesure : Etroitesse de l'accord entre le résultat d'un mesurage et une valeur vraie du mesurande.

Notions de vocabulaire spécifique à la métrologie

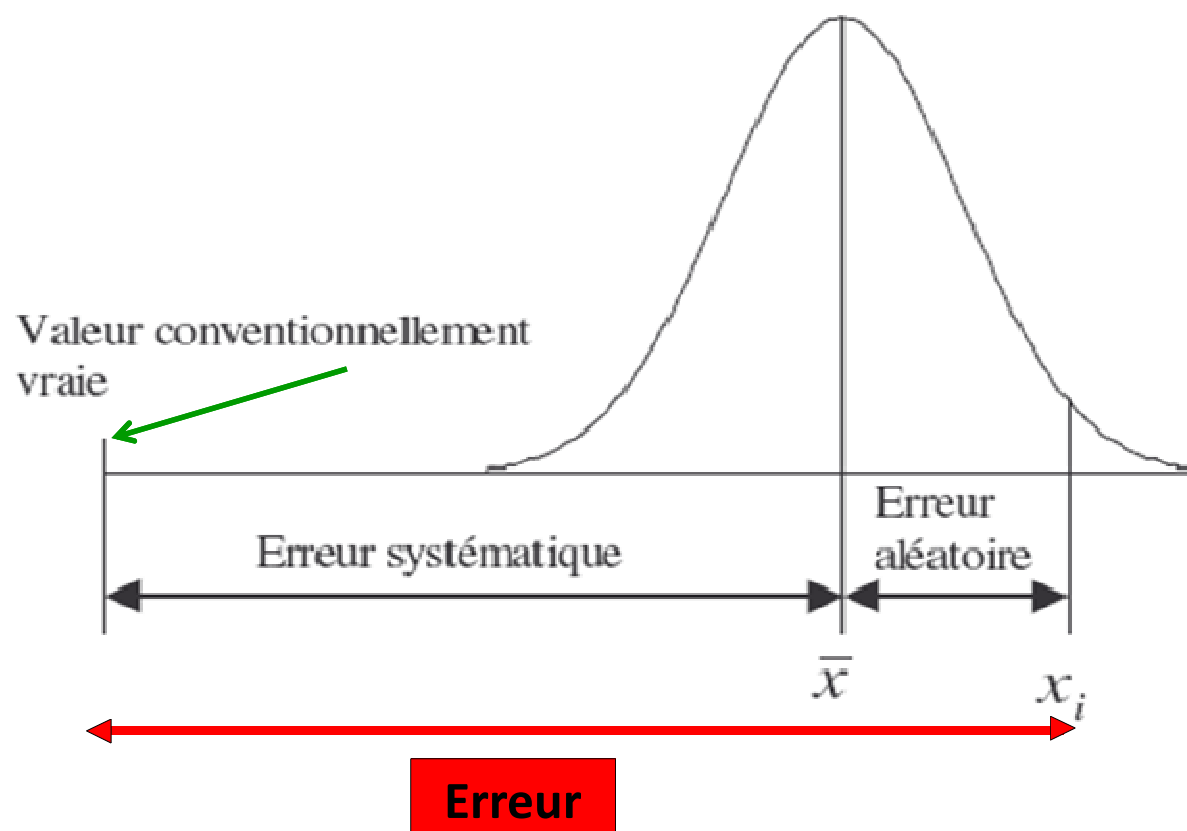
Erreur de Mesure : Résultat d'un mesurage moins une valeur vraie du mesurande .

Erreur Aléatoire : Résultat d'un mesurage moins la moyenne d'un nombre infini de mesurages du même mesurande, effectués dans les conditions de répétabilité .

Erreur Systématique : Moyenne qui résulterait d'un nombre *infini* de mesurages du même mesurande, effectués dans les conditions de répétabilité, moins une valeur vraie du mesurande.

Notions de vocabulaire spécifique à la métrologie

Les Erreurs : Aléatoire et Systématique



Notions de vocabulaire spécifique à la métrologie

Les principales **caractéristiques** d'un « Equipement de Contrôle de Mesure et d'Essais » (ECME) sont :

- Justesse,
 - Fidélité,
-
- Résolution, Sensibilité, ...

La fiabilité d'un ECME dépend de son **exactitude** qui dépend elle-même de ses **caractéristiques**.

Notions de vocabulaire spécifique à la métrologie

Répétabilité : Etroitesse de l'accord entre les résultats des mesurages successifs du même mesurande, mesurages effectués dans la totalité des mêmes conditions de mesure.

2- Les conditions de répétabilité comprennent :

- même mode opératoire*
- même observateur*
- même instrument de mesure utilisé dans les mêmes conditions*
- même lieu*
- répétition durant une courte période de temps.*

Notions de vocabulaire spécifique à la métrologie

Reproductibilité : Etroitesse de l'accord entre les résultats des mesurages du même mesurande, mesurages effectués en faisant varier les conditions de mesure.

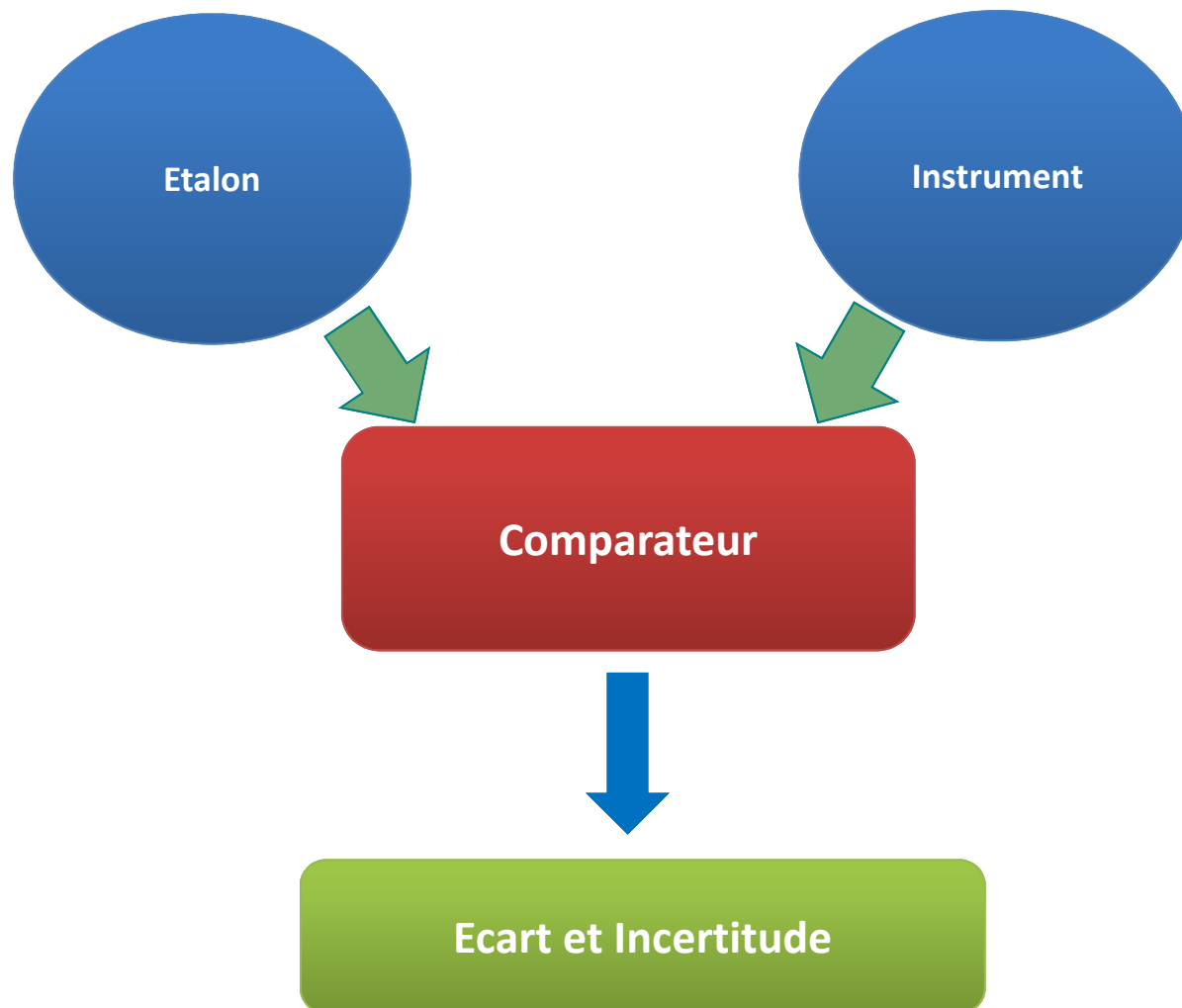
2- Les conditions que l'on fait varier peuvent comprendre :

- principe de mesure*
- méthode de mesure*
- observateur*
- instrument de mesure*
- étalon de référence*
- lieu*
- conditions d'utilisation*
- temps*

Notions de vocabulaire spécifique à la métrologie

Etalonnage : opération qui, dans des conditions spécifiées, établit en une première étape une relation entre les valeurs et les incertitudes de mesure associées qui sont fournies par des étalons et les indications correspondantes avec les incertitudes associées, puis utilise en une seconde étape cette information pour établir une relation permettant d'obtenir un résultat de mesure à partir d'une indication

Notions de vocabulaire spécifique à la métrologie



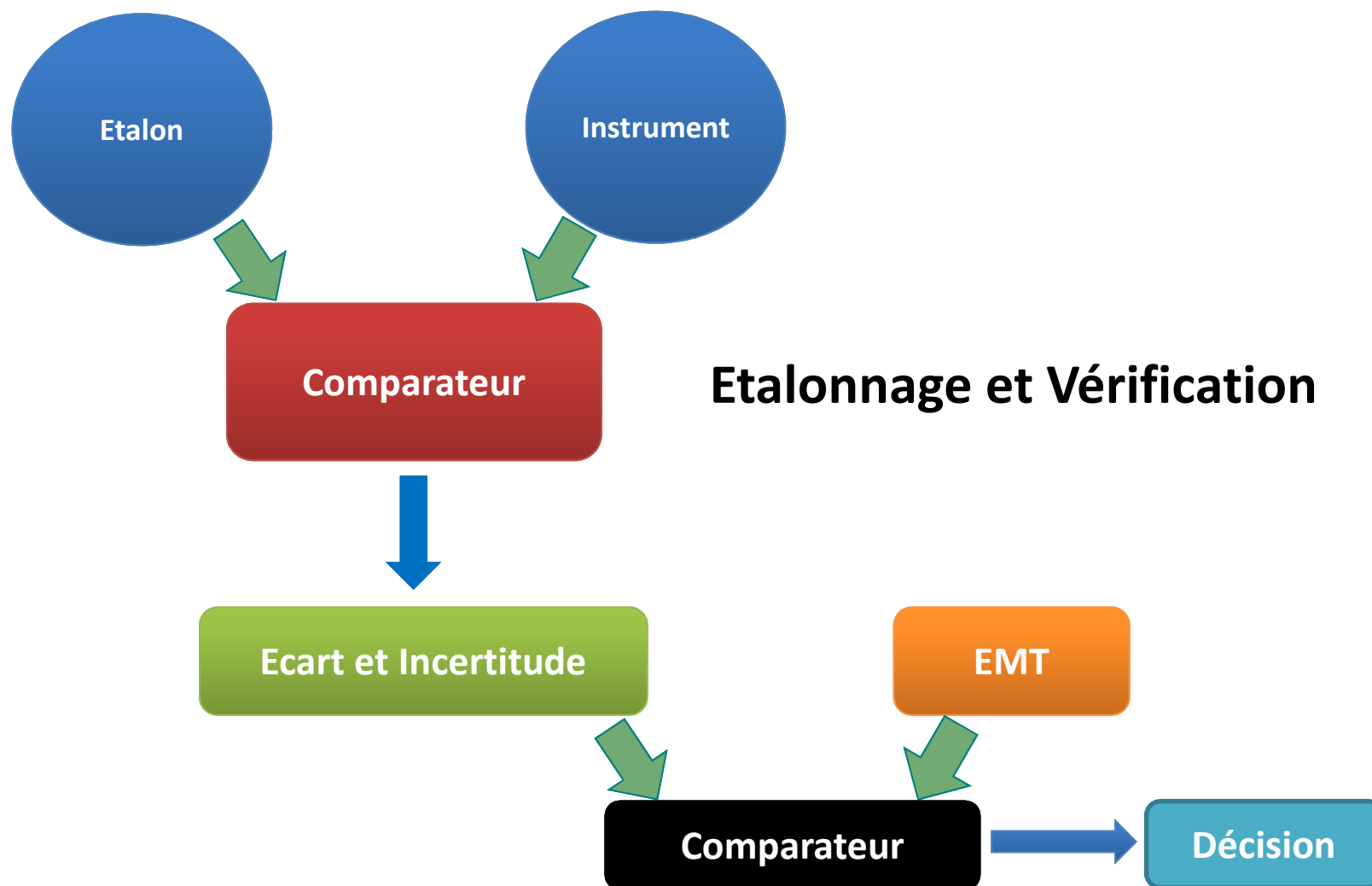
Notions de vocabulaire spécifique à la métrologie

Etalonnage : opération qui, dans des conditions spécifiées, établit en une première étape une relation entre les valeurs et les incertitudes de mesure associées qui sont fournies par des étalons et les indications correspondantes avec les incertitudes associées, puis utilise en une seconde étape cette information pour établir une relation permettant d'obtenir un résultat de mesure à partir d'une indication

Vérification : fourniture de preuves tangibles qu'une entité donnée satisfait à des exigences spécifiées.

confirmation par examen et établissement des preuves que les exigences spécifiées ont été satisfaites.

Notions de vocabulaire spécifique à la métrologie

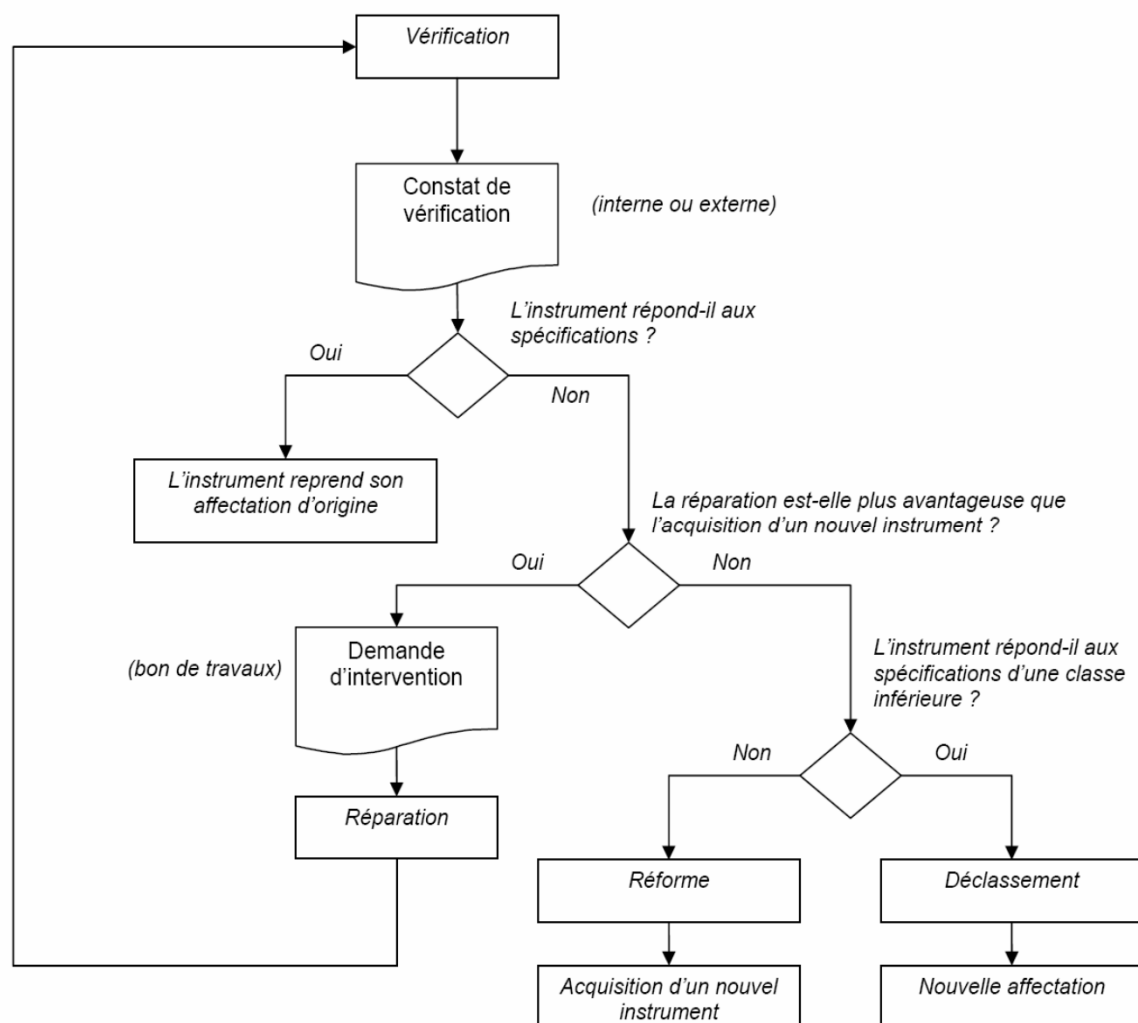


Notions de vocabulaire spécifique à la métrologie

Vérification et Décision

Le résultat d'une vérification se traduit par une décision de remise en service, d'ajustage, de réparation, de déclassement ou de réforme.

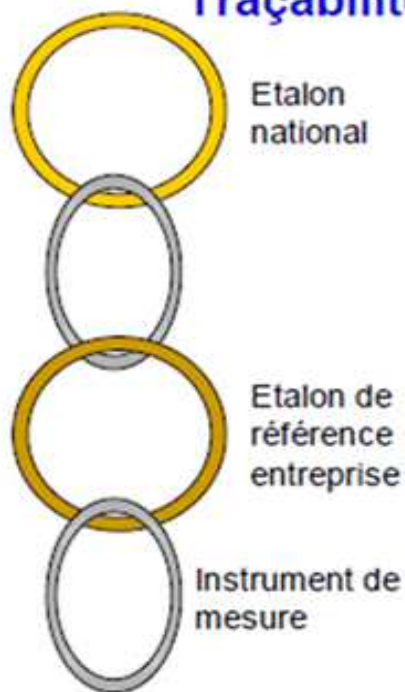
Dans tous les cas, une trace écrite de la vérification doit être conservée dans le dossier individuel de l'appareil de mesure.



Notions de vocabulaire spécifique à la métrologie

Traçabilité : PROPRIETE DU RESULTAT D'UN MESURAGE OU D'UN ETALON TEL QU'IL PUISSE ETRE RELIE A DES REFERENCES DETERMINEES, GENERALEMENT DES ETALONS NATIONAUX OU INTERNATIONAUX, PAR L'INTERMEDIAIRE D'UNE CHAINE ININTERROMPUE DE COMPARAISONS AYANT TOUTES DES INCERTITUDES DETERMINEES.

Traçabilité métrologique



Propriété d'un **résultat de mesure** selon laquelle ce résultat peut être relié à une référence par l'intermédiaire d'une chaîne ininterrompue et documentée **d'étalonnages** dont chacun contribue à **l'incertitude de mesure**

Sommaire

- Contexte et enjeux liés à la métrologie
- Définitions et organisation de la métrologie
- Notions de vocabulaire spécifique à la métrologie
- Notions d'incertitude de mesure
- Déclaration de conformité
- Rôle d'une « Fonction Métrologique »
- Normes et références

Notions d'incertitude de mesure

L'incertitude est l'**estimation** de la **confiance** donnée à un résultat de mesure

Notion quantitative

On peut apporter un crédit au résultat

La métrologie : « la **confiance** dans la **mesure** »,
peut aussi se lire : « la **mesure** dans la **confiance** ».

Notions d'incertitude de mesure

La métrologie facilite la recherche de la **valeur vraie**

Mais :

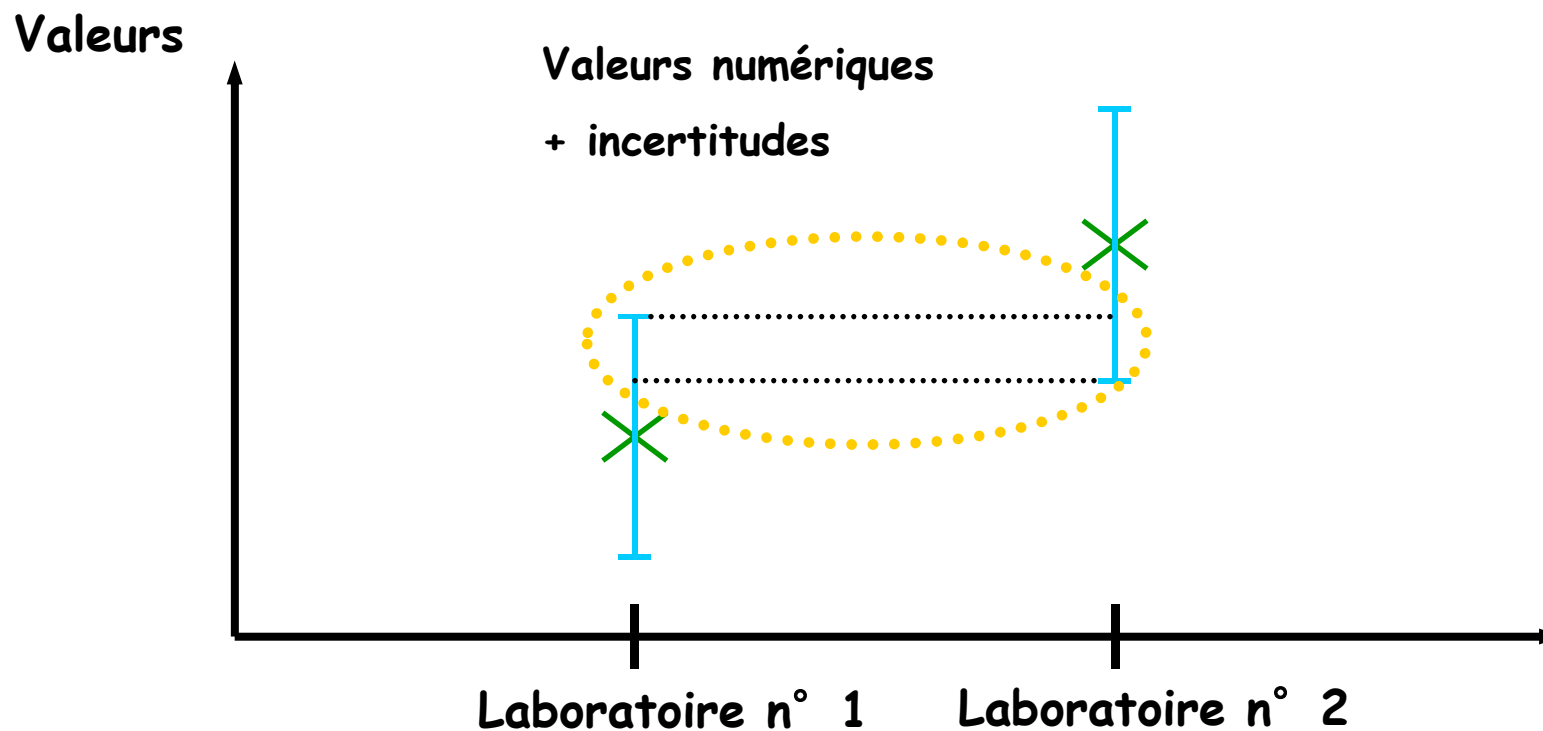
Tout est (un peu) faux

ou plutôt

rien n'est (complètement) vrai !

Notions d'incertitude de mesure

Pourquoi s'intéresser à l'incertitude de mesure ?



Notions d'incertitude de mesure

Pourquoi s'intéresser à l'incertitude de mesure ?



Notions d'incertitude de mesure

- La valeur mesurée n'est jamais la valeur attendue
- Évaluer l'intervalle, positionné par rapport à la valeur mesurée, dans lequel il est probable que cette valeur attendue figure
- Les facteurs d'influence : c'est la définition de ces différents facteurs qui conduit à l'imperfection de la mesure ou à l'*incertitude de mesure*



paramètre non négatif qui caractérise la dispersion des valeurs attribuées à un mesurande, à partir des informations utilisées.

Notions d'incertitude de mesure

Incertitude (VIM 2012)

incertitude de mesure, f

paramètre non négatif qui caractérise la dispersion des valeurs attribuées à un mesurande, à partir des informations utilisées

NOTE 1 L'incertitude de mesure comprend des **composantes** provenant d'effets systématiques, telles que les composantes associées aux corrections et aux valeurs assignées des étalons, ainsi que l'incertitude définitionnelle. **Parfois, on ne corrige pas** des effets systématiques estimés, mais on insère plutôt des composantes associées de l'incertitude.

NOTE 2 **Le paramètre peut être, par exemple, un écart-type appelé incertitude-type (ou un de ses multiples) ou la demi-étendue d'un intervalle ayant une probabilité de couverture déterminée.**

NOTE 3 L'incertitude de mesure comprend en général de nombreuses composantes. Certaines peuvent être évaluées par une **évaluation de type A** de l'incertitude à partir de la distribution statistique des valeurs provenant de séries de mesurages et peuvent être caractérisées par des écarts-types. Les autres composantes, qui peuvent être évaluées par une **évaluation de type B** de l'incertitude, peuvent aussi être caractérisées par des écarts-types, évalués à partir de fonctions de densité de probabilité fondées sur l'expérience ou d'autres informations.

NOTE 4 En général, pour des informations données, on sous-entend que l'incertitude de mesure est associée à une valeur déterminée attribuée au mesurande. Une modification de cette valeur entraîne une modification de l'incertitude associée.

VIM 1994 : Paramètre, associé au résultat d'un mesurage, qui caractérise la dispersion des valeurs qui pourraient être raisonnablement attribuées au mesurande

Notions d'incertitude de mesure

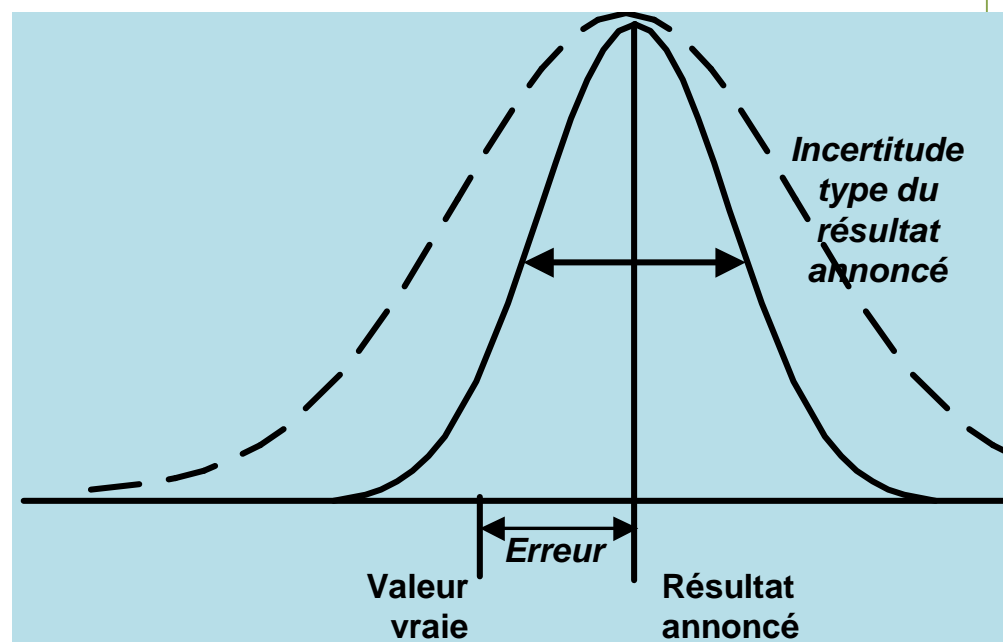
Dispersion d'un processus de mesure

Approche traditionnelle : les « 5 M »

- Milieu
- Moyen
- Méthode
- Main d'œuvre
- Matière

D'autres « M » sont possibles, même souhaitables :

- Marché
- Management
- Monnaie



Notions d'incertitude de mesure

L'incertitude, c'est :

- Le niveau de confiance de la mesure
- L'assurance que la mesure est compatible avec le besoin

L'incertitude, ce n'est pas :

- La recherche de la meilleure « précision » possible

Notions d'incertitude de mesure

Pourquoi évaluer l'incertitude de mesure ?

Des textes de référence l'imposent :

- Bonnes pratiques
- ISO/CEI 17025 (accréditation) «... les rapports d'essais doivent inclure une déclaration relative à l'incertitude de mesure ... »
- ISO 22000
- ISO/CEI 17020
- ISO 11465 (détermination d'humidité) «...peser à 1 mg près...»
- ... et bientôt l'ISO 9001

Notions d'incertitude de mesure

Pourquoi évaluer l'incertitude de mesure ?

Des clients le demandent :

- pour **caractériser les résultats avant de publier**
exemple: $(36,2 \pm 0,5)$ mg de cadmium / kg de sol
- pour **comparer des résultats entre eux**
exemple: teneur en calcium dans un même échantillon
date 1 : **5,24** mg / kg date 2 : **4,92** mg / kg
y a-t-il évolution ?

OUI si Incertitude $< \pm 0,16$ mg / kg

Notions d'incertitude de mesure

Pourquoi évaluer l'incertitude de mesure ?

Elles aident l'entreprise ou le laboratoire à prendre des **décisions** pour :

- **justifier** ou non une **réclamation** client sur un résultat rendu
- déclarer un **équipement** ou un produit **CONFORME** ou **NON CONFORME**
- Choisir l'**équipement adapté** pour une analyse

Notions d'incertitude de mesure

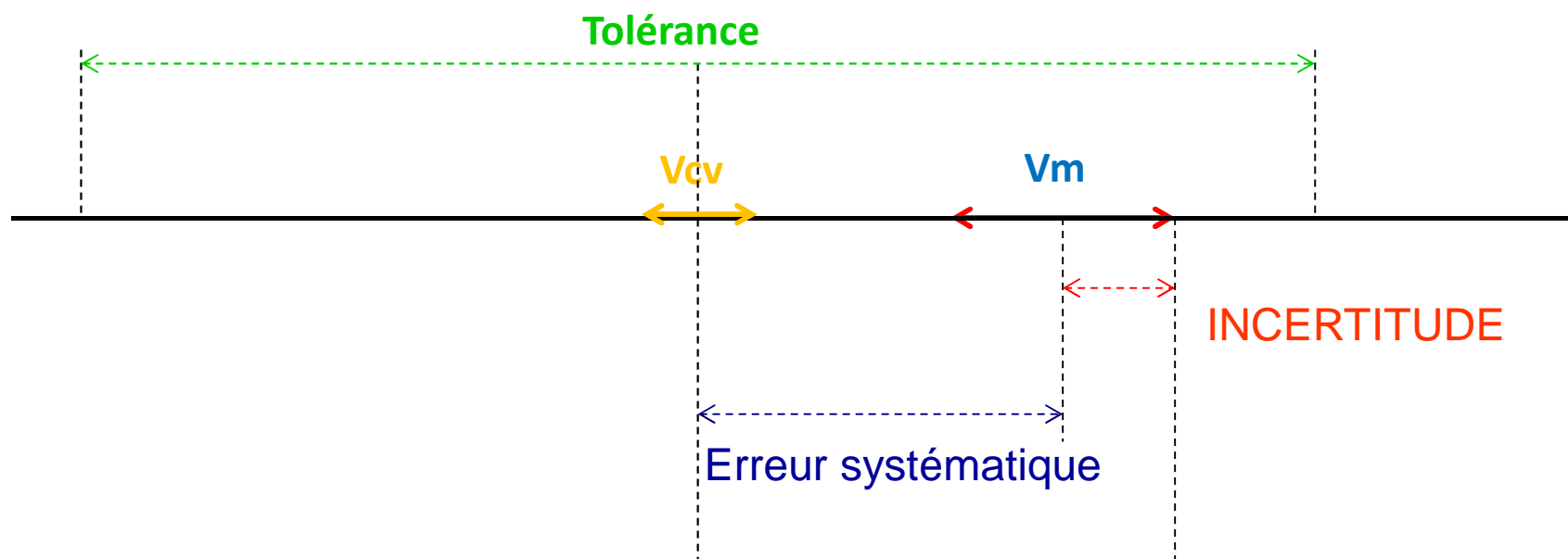
Mesurer => valeur + unité + incertitude

Ne pas confondre :

- incertitude et erreur
- unité et étalon
- mesure et essai
- étalonnage et vérification

Notions d'incertitude de mesure

Lorsque l'on fait une **mesure**



Vcv = Valeur Conventionnellement Vraie

Vm = Valeur Mesurée

Notions d'incertitude de mesure

On appelle une erreur de mesure, notée ε , l'écart entre le résultat x de la mesure de la grandeur et **sa valeur vraie** χ :

$$\varepsilon = x - \chi$$

$$\varepsilon = x - \chi = \varepsilon_A + \varepsilon_S$$

ε_A : **ERREURS ALEATOIRES** : dues à de nombreux phénomènes non contrôlables.

ε_S : **ERREURS SYSTEMATIQUES** : en général constantes lorsqu'on répète plusieurs fois la mesure dans des conditions macroscopiquement inchangées.

ε_A et ε_S sont inconnues.

Notions d'incertitude de mesure

Par définition, une **correction** de mesure C_i est l'estimation e_{Si} de ε_{Si} ,

changée de signe : $C_i = - e_{Si}$

INCERTITUDE DE MESURE

Les termes correspondants à l'erreur aléatoire ε_A et à l'erreur résiduelle ε_B , inconnues en signe et en valeurs, introduisent un doute sur le résultat de mesure.

L'incertitude de mesure exprime le manque de connaissance exacte de la valeur d'une grandeur.

Notions d'incertitude de mesure

Loi de propagation des incertitudes (cas général)

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

- A partir de x_1, x_2, \dots, x_n le modèle permet de connaître y
- A partir de $u_{x_1}, u_{x_2}, u_{x_n}$ la loi de propagation permet d'estimer u_y

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^n \left[\frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 u^2(x_i) + \underbrace{2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \left[\frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial f}{\partial x_j} \right] u(x_i) u(x_j) r(x_i, x_j)}_{\text{Corrélation entre } x_1, x_2, \dots, x_n}$$

Notions d'incertitude de mesure

Démarche structurée en quatre étapes

- ✓ **1^{ère} Etape : LE MESURANDE et LE MODELE**
 - Définition du mesurande,
 - L'analyse du processus de mesure,
 - Le modèle mathématique du processus de mesure.
- ✓ **2^{ème} Etape : CALCULS DES INCERTITUDES – TYPES**
 - Les méthodes d'évaluation de type A et de type B.
- ✓ **3^{ème} Etape : DETERMINATION DE L'INCERTITUDE COMPOSEE**
 - Loi de propagation des incertitudes.
- ✓ **4^{ème} Etape : EXPRIMER LE RESULTAT ET SON INCERTITUDE**
 - Exprimer le résultat et son incertitude.

Notions d'incertitude de mesure

(Fascicule de documentation FD X 07-021 édité par l'AFNOR)

■ 5.4.6.3: Lorsqu'on estime l'incertitude de mesure, il faut prendre en compte, en utilisant des méthodes d'analyse appropriées, toutes les composantes de l'incertitude qui ont une importance dans la situation donnée.

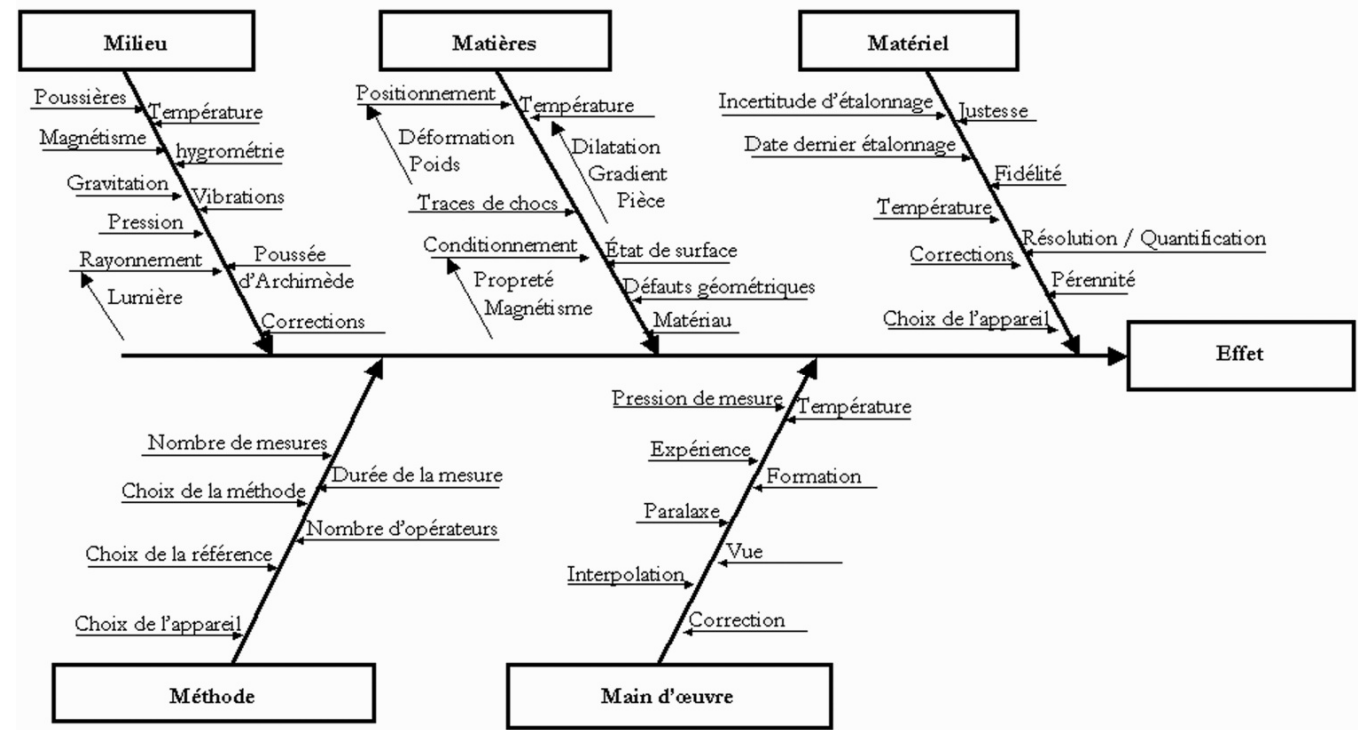


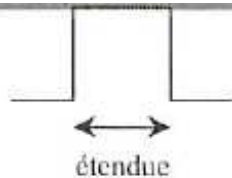
Diagramme des causes et effets
Diagramme d'ICHIKAWA, méthode des « 5 M »

Notions d'incertitude de mesure

Quelques exemples de lois de distribution utilisées en métrologie (méthode de type B)

1) Loi uniforme:

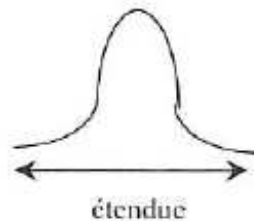
$$u = \frac{\text{étendue}}{2\sqrt{3}}$$



Exemple: résolution, classe d'un instrument

2) Loi normale:

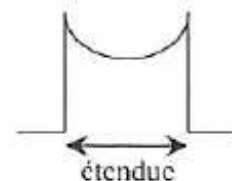
$$u = \frac{\text{étendue}}{6}$$



Exemple: somme de phénomènes ayant tous une faible influence

3) Loi arcsinus:

$$u = \frac{\text{étendue}}{2\sqrt{2}}$$



Exemple: régulation de température

4) Utilisation d'un certificat d'étalonnage:

$$u = \frac{I_{\text{certificat}}}{k} = \frac{I_{\text{certificat}}}{2}$$

Notions d'incertitude de mesure

Etude de la température d'un local :

- **Méthode de type B** : Connaissance des températures extrêmes du local (17°C et 23°C) et choix d'une forme de distribution (uniforme) :

$$t = \frac{23^{\circ}\text{C} + 17^{\circ}\text{C}}{2} = 20^{\circ}\text{C}$$

$$u(t) = \frac{3^{\circ}\text{C}}{\sqrt{3}} = 1,7^{\circ}\text{C}$$

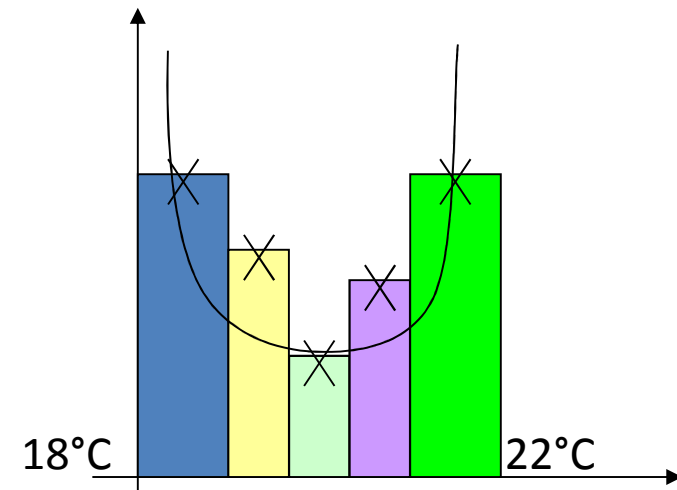
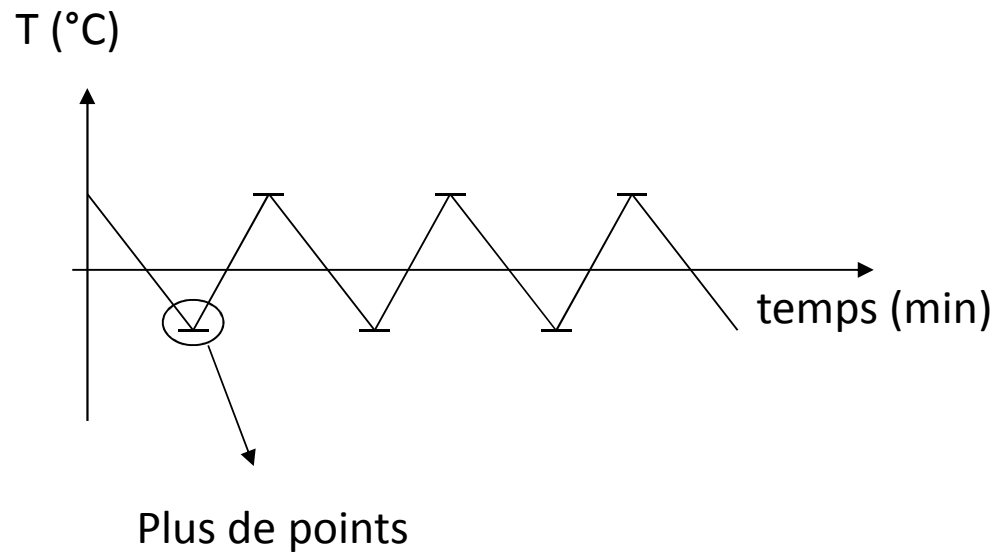
- **Méthode de type A** : on enregistre la température pendant un an puis on traite les données :

Moyenne : $\bar{t} = \frac{t_1 + t_2 + \dots + t_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i$

Incetitude – type : $u(t) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}$

Notions d'incertitude de mesure

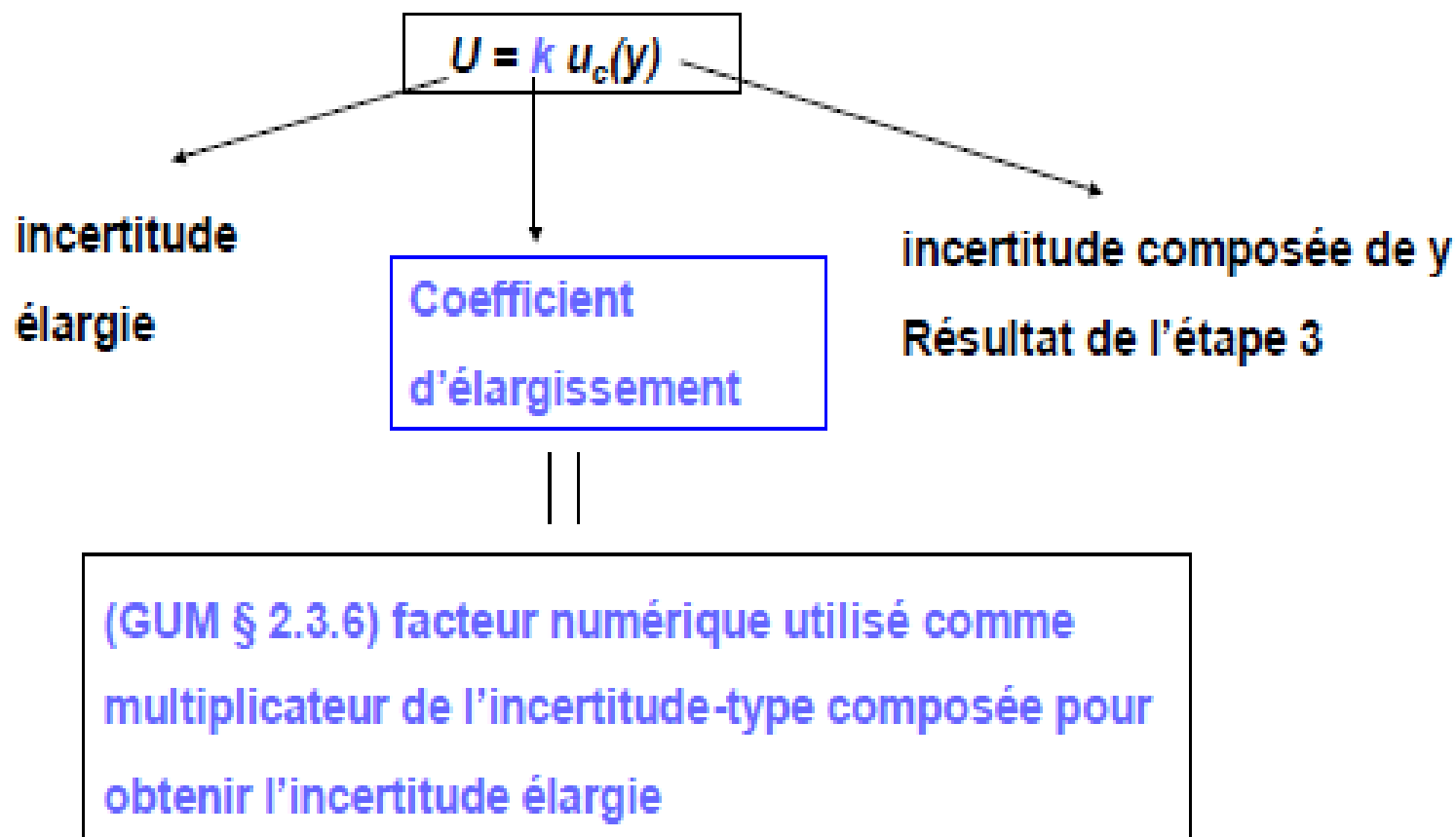
Température régulée à $\pm \delta\theta \Rightarrow u^2(\text{température}) = \frac{\delta\theta^2}{2} \quad u(\text{température}) = \frac{\delta\theta}{\sqrt{2}}$



$$u^2(\text{température}) = \frac{(2)^2}{2} (\text{°C})^2 \quad u(\text{température}) = \frac{2}{\sqrt{2}} \text{°C}$$

Notions d'incertitude de mesure

Incertitude élargie



Notions d'incertitude de mesure

Résultat annoncé

On exprime le résultat du mesurage de la façon suivante :

$y \pm U$ (unité) en donnant la valeur numérique de k

Important pour pouvoir :

Retrouver $u_c(y)$

L'élever au carré

Le propager

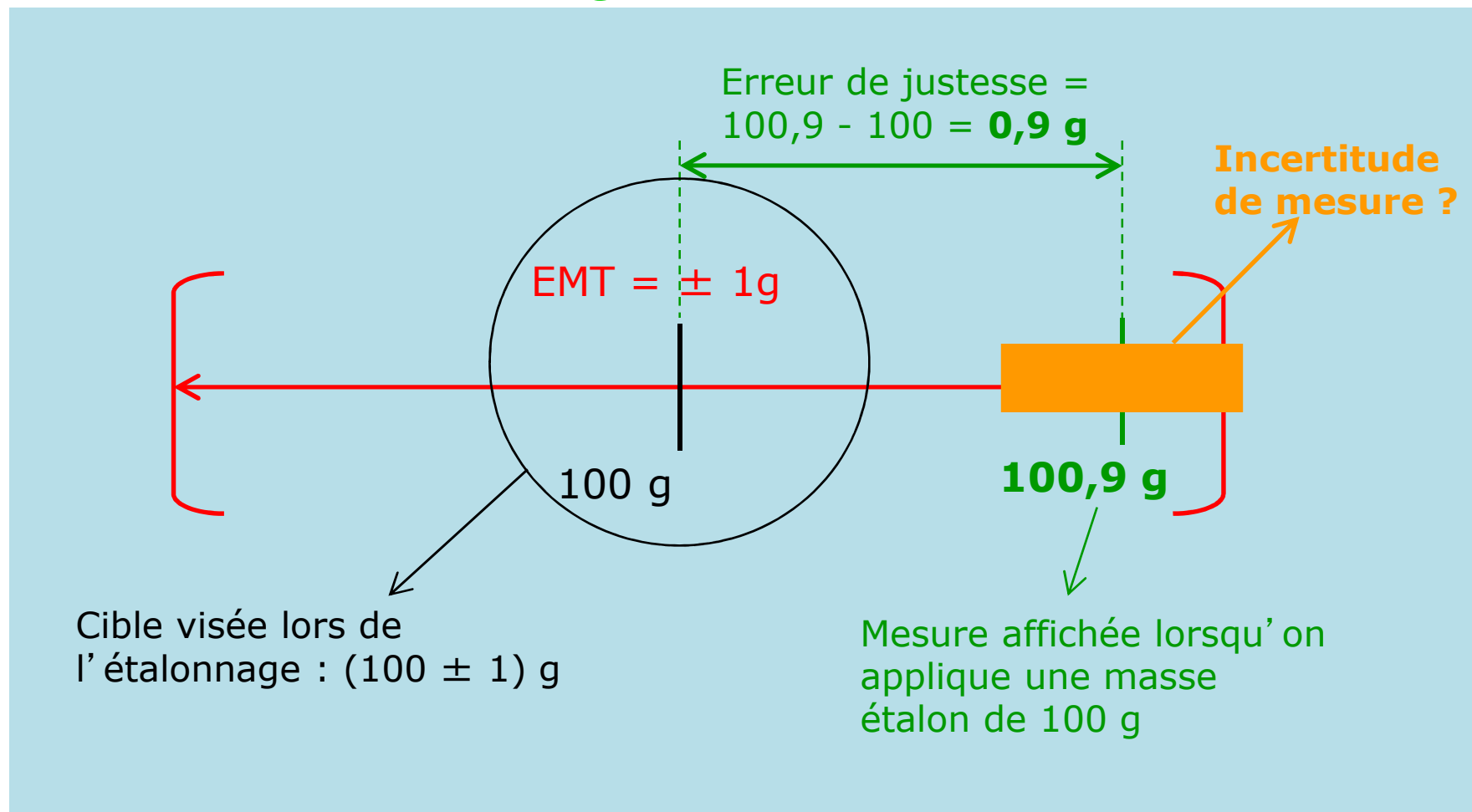
Exemple : $(30,32 \pm 0,23) \text{ kWh}$ ($k = 2$)

Sommaire

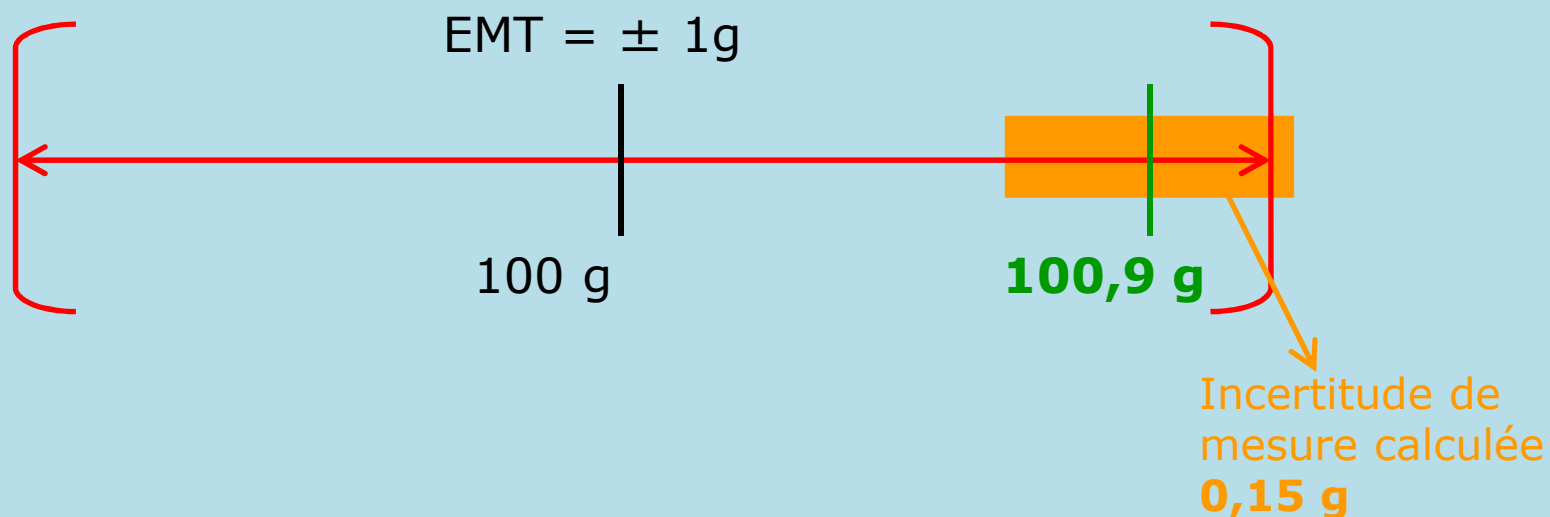
- Contexte et enjeux liés à la métrologie
- Définitions et organisation de la métrologie
- Notions de vocabulaire spécifique à la métrologie
- Notions d'incertitude de mesure
- Déclaration de conformité
- Rôle d'une « Fonction Métrologique »
- Normes et références

Déclaration de conformité

La métrologie : outil de décision



Déclaration de conformité



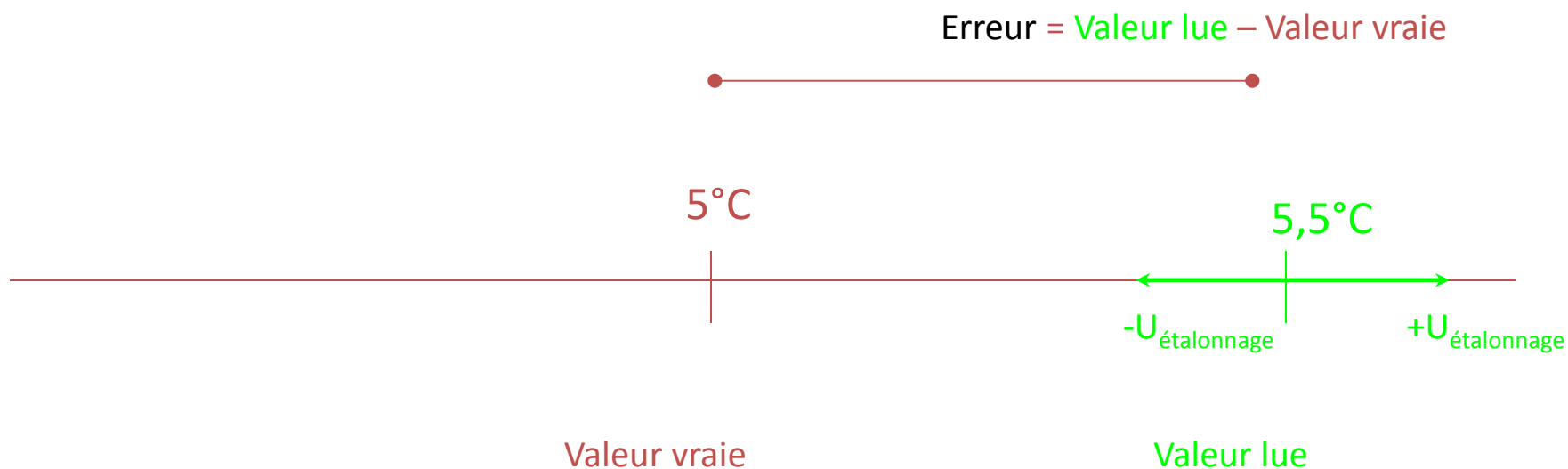
Erreur de justesse : Mesure lue – Etalon associé à l'incertitude :

$0,9 - 0,15 = 0,75\text{ g}$ cas favorable ; décision : **CONFORME**

$0,9 + 0,15 = 1,05\text{ g}$ cas défavorable ; décision : **NON CONFORME**

Déclaration de conformité

Utilisation des données d'étalonnage



Déclaration de conformité

Utilisation des données d'étalonnage

2 exploitations possibles de l'étalonnage

- Effectuer une CORRECTION systématique de l'erreur de justesse de l'instrument au point de mesure.

OU

- Effectuer une VERIFICATION afin de s'assurer que l'instrument a une erreur de justesse suffisamment faible pour que je la considère comme négligeable.

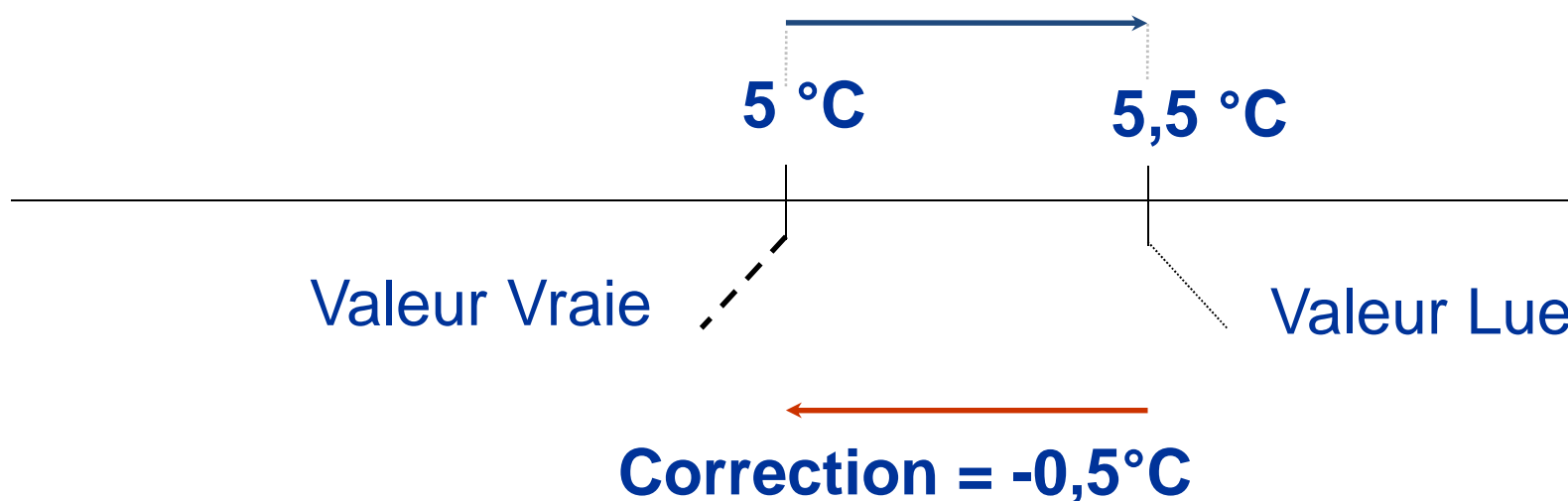
Déclaration de conformité

Utilisation des données d'étalonnage

- Effectuer une correction systématique de l'erreur de justesse de l'instrument au point de mesure.

$$\text{CORRECTION} = - \text{ERREUR}$$

Erreur de justesse = $+0,5^{\circ}\text{C}$

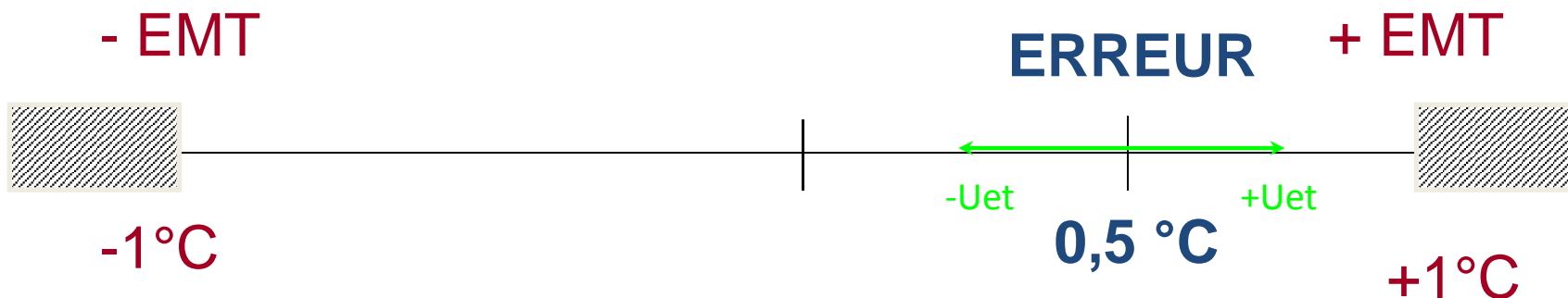


Déclaration de conformité

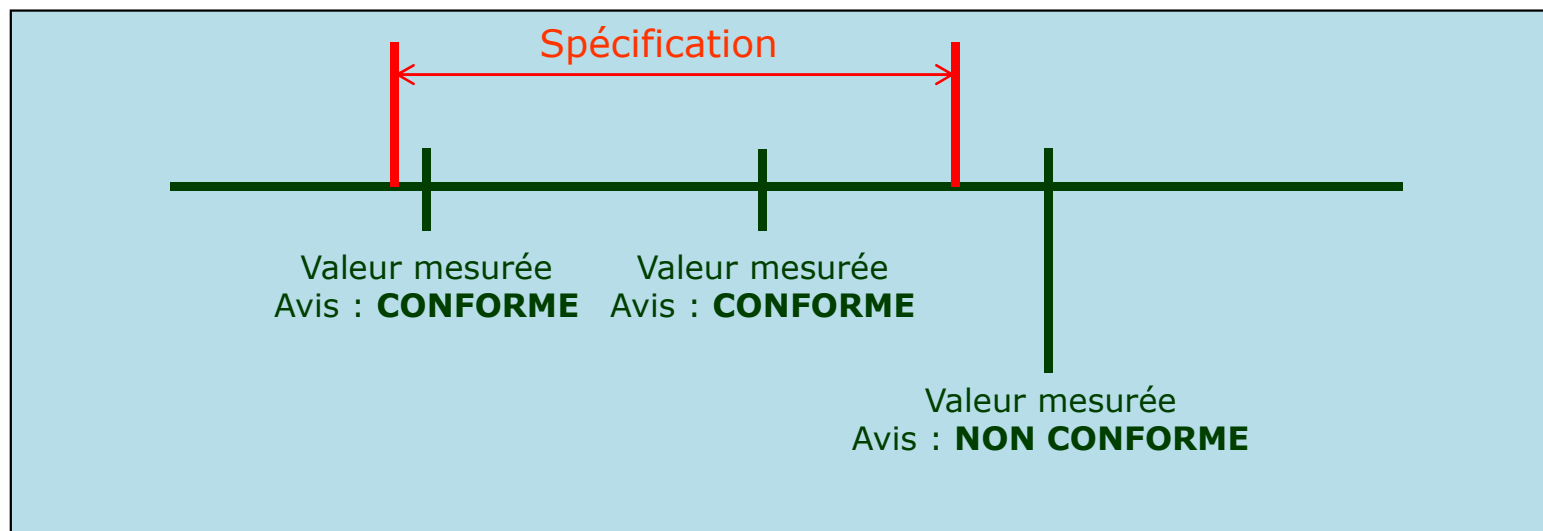
Utilisation des données d'étalonnage

- Effectuer une vérification afin de s'assurer que l'instrument a une erreur de justesse suffisamment faible pour je la considère comme négligeable.

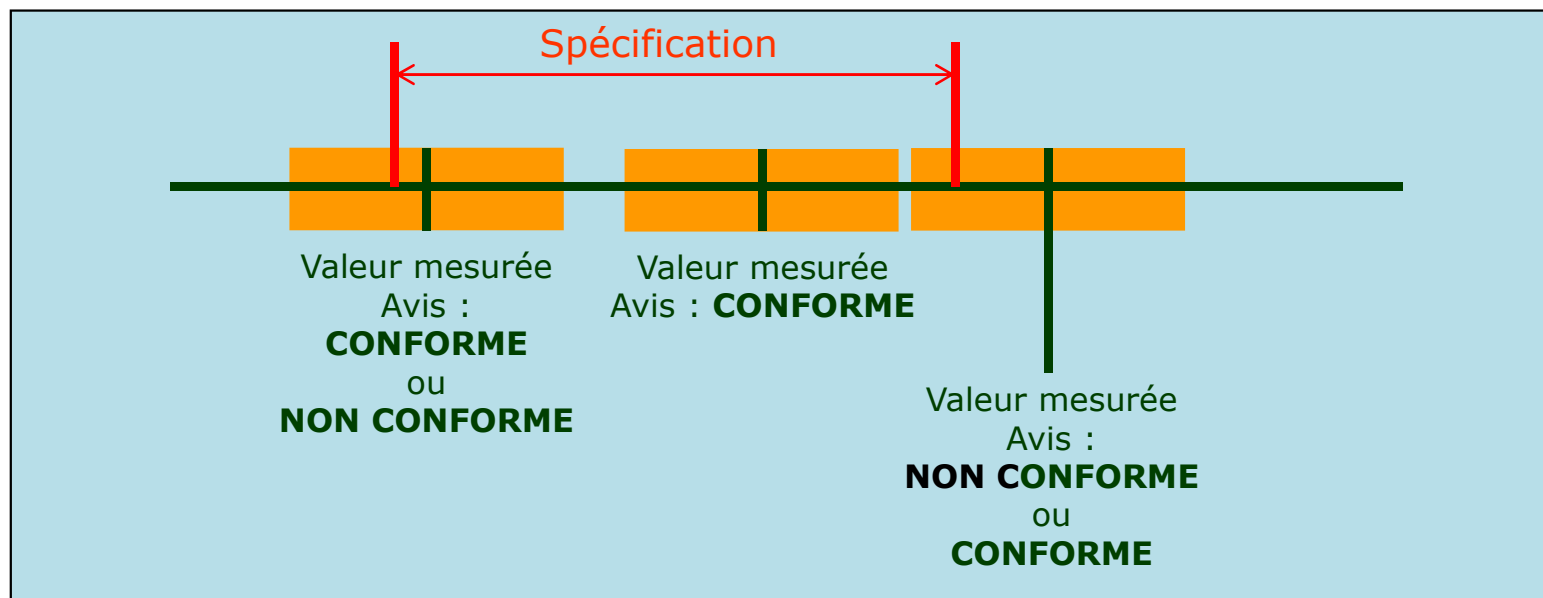
$$| \text{ERREUR} | + U_{\text{étalonnage}} < \text{EMT}$$



Déclaration de conformité

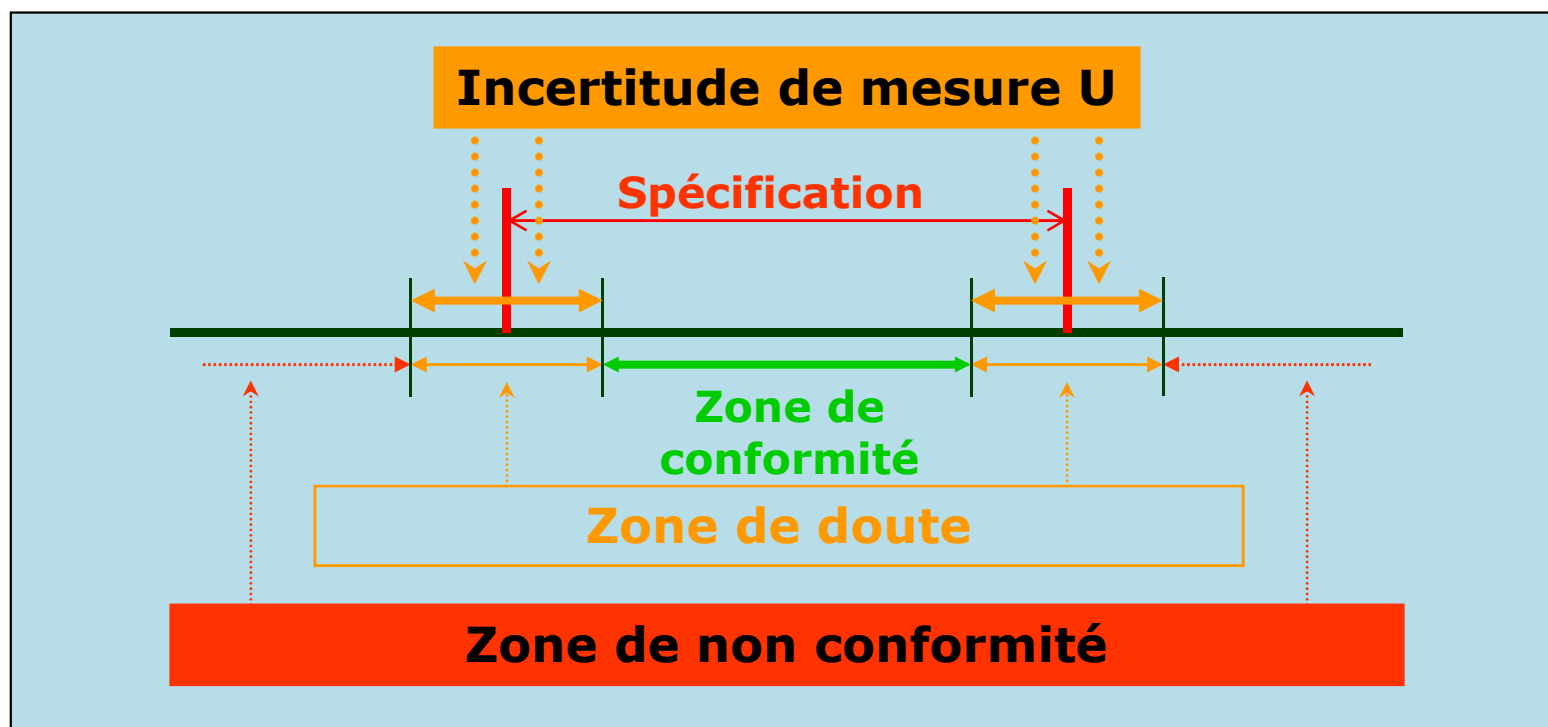


Déclaration de conformité



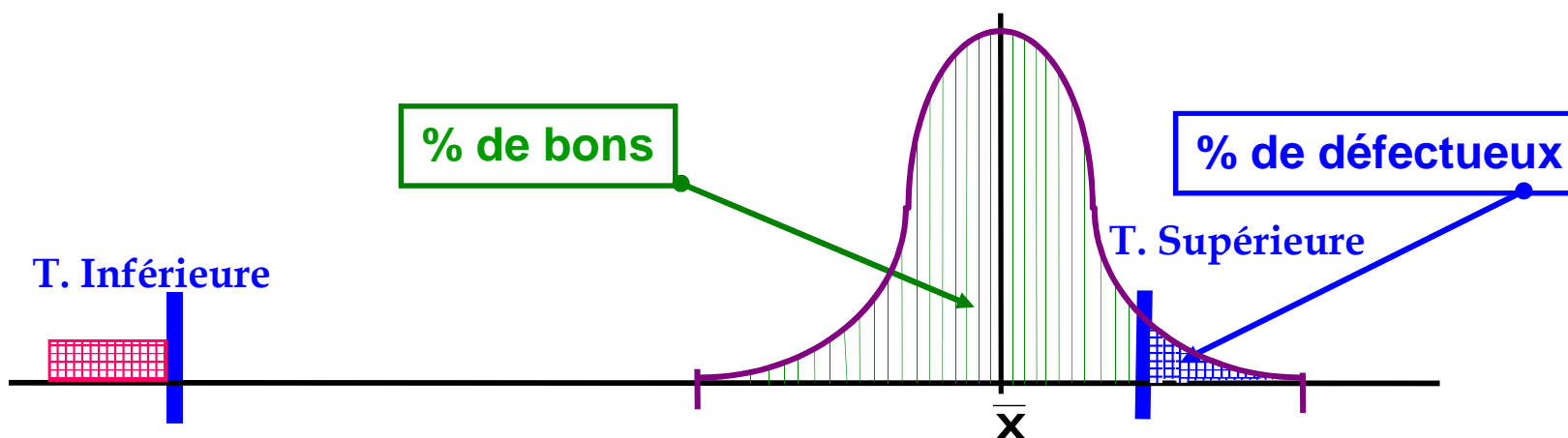
Déclaration de conformité

Norme ISO 14253-1 (à défaut d'autre convention)



Déclaration de conformité

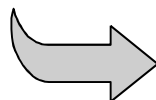
La performance et la prise de décision



Dispersé
juste



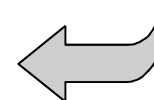
Réduire
la dispersion



Exact
performant



Centrer
le Processus



Décentré
fidèle



Sommaire

- Contexte et enjeux liés à la métrologie
- Définitions et organisation de la métrologie
- Notions de vocabulaire spécifique à la métrologie
- Notions d'incertitude de mesure
- Déclaration de conformité
- Rôle d'une « Fonction Métrologique »
- Normes et références

Rôle d'une Fonction Métrologique

Fonction métrologique (ISO 10012)

- Ensemble des règles et dispositions régissant l'organisation de la métrologie dans l'entreprise.
- Organisation et dispositions mises en œuvre par l'entreprise pour satisfaire aux exigences normatives relatives à la maîtrise des équipements et processus de mesure.
- Maîtriser l'aptitude à l'emploi de tous les équipements de mesure et processus de mesure utilisés dans l'entreprise et à en donner l'assurance.

Rôle d'une Fonction Métrologique

NF EN ISO/CEI 17025

- L'équipement et le logiciel correspondant utilisés pour les essais, les étalonnages et l'échantillonnage doivent permettre d'obtenir l'exactitude requise et doivent être conformes aux spécifications pertinentes pour les essais et/ou les étalonnages en question. [5.5.2]

Rôle d'une Fonction Métrologique

ISO 9001

- L'organisme doit utiliser des méthodes appropriées pour la mesure et la surveillance des processus de réalisation nécessaires pour satisfaire aux exigences des clients et ces méthodes doivent confirmer l'aptitude permanente de chaque processus à satisfaire sa finalité. [8.2.3]
- L'organisme doit mesurer et surveiller les caractéristiques du produit afin de vérifier que les exigences relatives au produit sont satisfaites. [8.2.4]

Rôle d'une Fonction Métrologique

ISO 14000

- L'organisme doit établir et maintenir des procédures documentées pour surveiller et mesurer régulièrement les principales caractéristiques de ses opérations et activités qui peuvent avoir un impact significatif sur l'environnement. Ceci doit inclure l'enregistrement des informations permettant le suivi de la performance, des contrôles opérationnels appropriés, et de la conformité aux objectifs et aux cibles de l'organisme.

Rôle d'une Fonction Métrologique

Les normes imposent que les équipements de mesure mis en œuvre permettent d'obtenir l'exactitude requise par les processus considérés.

Rôle d'une Fonction Métrologique

Rôle : Maîtriser l'aptitude à l'emploi de tous les équipements de mesure utilisés dans l'entreprise, qui peuvent avoir une influence sur la qualité du produit ou du service.

Objectifs : Pouvoir assurer, avec un risque minimal, que l'ensemble des équipements de mesure se trouvent à l'intérieur de limites d'erreurs tolérées, définies par l'utilisateur.



La fonction métrologique doit être intégrée au sein de l'entreprise



Un responsable Métrologie doit être nommé

Rôle d'une Fonction Métrologique

Principales tâches du Responsable Métrologie

1. Organisation :

- + Organiser la métrologie dans l'entreprise,
- + Définir les compétences et la qualification des personnels,
- + Maîtriser les sous-traitants,
- + Assurer la traçabilité des mesures aux étalons nationaux ou internationaux.

2. Gestion du parc d'équipements :

- + Inventorier les équipements de l'entreprise,
- + Classer les instruments,
- + Mettre en place les dossiers individuels des instruments,
- + Définir les intervalles d'étalonnage et/ou de vérification,
- + Indiquer l'état de la vérification ou de l'étalonnage,
- + Aider à évaluer, choisir les instruments de mesure.

Rôle d'une Fonction Métrologique

Nécessité de la gestion d'un parc de mesure

Domaine de comptage énergétique

1 % d'erreur sur le comptage

Erreur	Résultat
10 Wh pour 1 kWh	100 Wh pour 10 kWh
Si 10 kWh/jour	100 Wh par jour
Si 365 jours/an	36500 Wh par an (soit 36,5 kWh)
Si 1 000 000 Abonnés	36,5 GWh (10^9 Wh)

Quel degré de confiance peut-on accorder à la mesure ?

Étalonnage et Vérification Périodiques des moyens
de mesure s'imposent alors...

Rôle d'une Fonction Métrologique

Principales tâches du Responsable Métrologie (Suite)

3. Définir les besoins métrologiques :

- ✚ Définir les besoins en termes de mesure,
- ✚ Aider à l'évaluation des incertitudes de mesure, vérifier leur compatibilité avec les spécifications à vérifier,
- ✚ Choisir la prestation : Etalonnage ou Vérification,
- ✚ Etablir les programmes de vérification ou d'étalonnage,
- ✚ Etablir les critères d'acceptation pour procéder à la vérification des instruments.

4. Réaliser les opérations métrologiques :

- ✚ Vérifier les instruments,
- ✚ Qualifier les bancs d'essais,
- ✚ Empêcher les dérèglages,
- ✚ Protéger les instruments contre les dégradations.

5. Qualité - Traçabilité :

- ✚ Mettre en place les actions correctives lorsqu'un appareil de mesure est trouvé « non-conforme ».

Rôle d'une Fonction Métrologique

Exigences pour maîtriser la métrologie selon l'ISO 10012

Exigences pour maîtriser la métrologie

- A. Analyser ses besoins métrologiques
- B. Recenser son parc d'instruments
- C. Choisir le matériel à suivre rigoureusement
- D. Déterminer la périodicité du suivi
- E. Métrologie interne ou externe ?
- F. Sous-traiter ?
- G. Mettre en place une gestion rigoureuse

Note importante :

- ✚ On peut sous-traiter les opérations d'étalonnage ou de vérification des instruments,
- ✚ On ne peut pas « se débarrasser » de la fonction métrologique.

Rôle d'une Fonction Métrologique

A. Analyses ses Besoins Métrologiques

- + Qu'elle exactitude recherchée ?
- + Quelles sont les méthodes de mesure possibles ?
- + Choix de l'instrument à utiliser ?
- + Comment assurer la qualité des mesures ?
- + Faut-il des locaux et personnel qualifié en permanence ?
- + Faut-il sous traiter ?

Rôle d'une Fonction Métrologique

B. Recensement du parc d'instruments

Désignation	Type et N° de série de l'appareil	Constructeur	Code Laboratoire	Périodicité	Date du dernier raccordement	N° du dernier certificat d'étalonnage	Lieu
Caisse d'injection (courant, tension et déphasage)	-----/ 34128	EMH	METRO-xxx	-----	xx/xx/xxxx	005970	DAKKS Allemagne
Compteur énergétique étalon de travail	----- / 20863	MTE/EMH	METRO-xxx	06 mois	xx/xx/xxxx	xxx/015/10	En interne
Multimètre	xxx / 86520216	Fluke	METRO-xxx	12 mois	-----	-----	DEFNAT-Tunisie
Banc d'étalonnage compteur	MTE-F3-10.10-400S	MTE	METRO-xxx	36 mois	-----	-----	DAKKS-PTB
Compteur étalon de travail	PWS 3.3	MTE	METRO-xxx	06 mois	-----	-----	LNE-France

Rôle d'une Fonction Métrologique

C. Critères du choix du matériel à suivre

Criticité par rapport au processus industriel ou d'essai

- ✚ Est-ce que l'instrument a une incidence directe sur la qualité des résultats (l'exactitude de la mesure est déterminante quant à la déclaration de la conformité) ?,
- ✚ Est-ce que l'instrument a une incidence sur les coûts ?,
- ✚ Est-ce que l'instrument a une incidence sur la sécurité ?.

Note : On ne peut pas appliquer la même rigueur de suivi à tous les instruments de mesure.



**S'interroger sur les conséquences éventuelles d'une dérive non détectée,
évaluer le risque et le comparer au coût total.**

Rôle d'une Fonction Métrologique

D. Périodicité de Suivi

Une période d'étalonnage trop courte est coûteuse

Des intervalles trop longs risquent d'empêcher de déceler une dérive



Elaboration de Carte de Contrôle ou de Suivi

**Ainsi la périodicité d'étalonnage est variable
c'est-à-dire elle peut être rallongée ou raccourcie**

Rôle d'une Fonction Métrologique

E. Métrologie interne ou externe ?

- Etalonnage du parc d'équipements dans un laboratoire accrédité
- Raccordement en interne des instruments de mesure (réalisé soi-même dans son entreprise)

Le choix entre les deux propositions dépendra essentiellement :

- + Du niveau d'incertitude de la mesure,
- + De la nature du parc,
- + De l'offre de la prestation de service,
- + Des moyens d'étalonnage disponibles,
- + Des coûts comparés des deux solutions,
- + De la qualification du personnel,
- + De la disponibilité des procédures...

Rôle d'une Fonction Métrologique

F. Sous-traitance ?

Le Sous-traitant choisi répond bien aux critères de l'assurance qualité : la meilleure garantie est offerte par les laboratoires accrédités.

Adéquation entre les exigences de l'organisme et les performances du moyen de mesure (exactitude, incertitude)

Le rapport définissant la relation entre l'incertitude liée à la chaîne de travail, constituée d'un étalon de travail et de son indicateur, et les limites d'acceptation tolérées dans le « processus » est donné par l'expression suivante :

$$\text{Rapport} = \frac{\pm 2.u (\text{Incertitude de l'étalon de travail})}{\text{Limite d'acceptation}}$$

Un rapport entre les deux valeurs précédemment définies, compris entre 1/10 et 1/3 est souvent pratiqué.

Fixer un rapport strict de 1/10 par exemple induit dans bien des cas des difficultés techniques.

Rôle d'une Fonction Métrologique

Adéquation entre le Moyen de Mesure et les Exigences du Processus : Application

Exemple : Le besoin actuel d'un organisme est exprimé essentiellement autour de la vérification et le contrôle des compteurs énergétiques électriques de différentes classes de précision (d'exactitude)

La démarche suivie pour bien définir le besoin de vérification repose sur la définition d'abord des prescriptions exigées par l'opération de vérification puis sur le choix du matériel nécessaire pour valider ces prescriptions.



Dans notre cas, la tolérance finale sera égale à :
 $\inf (\pm 0,2 \% ; \pm 2 \%) = \pm 0,2 \%$

Rôle d'une Fonction Métrologique

Si on choisit, par exemple, un rapport R égal à :

$$\text{Rapport} = \frac{1}{3} \quad ; \quad \text{alors} \quad \frac{2.u}{0,4 \%} = \frac{1}{3}$$

$$\text{donc } u(\text{relative}) = 0,07 \%$$

Rôle d'une Fonction Métrologique

G. Mise en place d'une Gestion documentaire rigoureuse

- + Formalisation des documents de gestion documentaire (procédures, instructions, enregistrements,...),
- + Intégration dans le système de management de l'entreprise,
- + Etablissement et mise à jour des fiches de vie des équipements.

Rôle d'une Fonction Métrologique

Identification de l'instrument :

Désignation	:	Date de réception	Doc. de référence
Fabricant	:		
N° de série	:	État à la réception	Service D'affectation
Codification interne	:		

Étalonnage/Vérification :

Instructions	:	
Périodicité	:	
Opérateur	:	

Maintenance :

Instructions	:	
Périodicité	:	

Interventions :

Date	Opération	Résultats/Références	Opérateur
10/10/2014	Acquisition	Certificat d'étalonnage (COFRAC)	Responsable Technique
05/03/2016	Vérification	Dérive	Responsable Métrologie
12/03/2017	Réétalonnage	Réglage + Conforme	CNCC-TUNAC



<u>Nom</u>	Balance-BAL
------------	-------------

Identification	Caractérist
----------------	-------------



N°	Nature
1	Vérification
2	Vérification
3	Vérification
4	Vérification
5	Vérification
6	Vérification
7	Vérification
8	Vérification
9	Vérification
10	Vérification
11	Vérification
12	Vérification
13	Vérification
14	Vérification
15	Vérification
16	Vérification
17	Vérification
18	Vérification

Equipement 28 05 99 000358

Photographie		Divers	
Identité	Caractéristiques	Suivi	
Responsable : SABAUI ▼			
Maintenance requise			
Contrôle sécurité			
<hr/>			
Périodicité des maintenances			
Interne	<input type="text"/>	mois	
Externe	<input type="text"/>	mois	
Dernières maintenances		Prochaines maintenances	
Interne	<input type="text"/>	<input checked="" type="radio"/> Non prévue	
Externe	<input type="text"/>	<input checked="" type="radio"/> Non prévue	
<hr/>			
Périodicité des vérifications			
Interne	<input type="text"/>	mois	
Externe	<input type="text" value="12"/>	mois	
Dernières vérifications		Prochaines vérifications	
Interne	<input type="text"/>	<input checked="" type="radio"/> Non prévue	
Externe	<input type="text" value="10/02/2014"/>	<input checked="" type="radio"/> Février 2015	

ue

de contrôle	Gestion de prêts
-------------	------------------

[illegible]

Rôle d'une Fonction Métrologique

- ✚ Comment sont consignés les résultats des étalonnages et/ou vérifications ?
- ✚ Quelles sont les règles de conservation et d'archivage des documents métrologiques (procédures, certificats, constats, ...) ?
- ✚ Comment est définie cette périodicité ?
- ✚ Comment sont revues les périodicités d'étalonnage et/ou de vérification ?
- ✚ Existe-t-il des procédures d'étalonnage et/ou de vérification internes ?
- ✚ Lorsque les procédures existent, le mode opératoire détaille-t-il parfaitement les opérations à réaliser ?
- ✚ Les procédures de vérifications métrologiques prévoient-elles les critères d'acceptation sur les équipements vérifiés ?
- ✚ Comment maîtrisez-vous les conditions d'environnement lors des étalonnages ou des vérifications internes ?
- ✚ Comment sont raccordés métrologiquement les mesures aux étalons nationaux.
- ✚ Les étalons sont-ils gérés différemment que les équipements de mesure ?
- ✚ Comment faites-vous lorsqu'un instrument critique est déclaré non-conforme suite à une vérification ?

Rôle d'une Fonction Métrologique

Audit Métrologique

- ✚ Existe-t-il une liste détaillée et exhaustive des équipements de mesure de l'entreprise ?
- ✚ Comment sont sélectionnés les équipements de mesure, ainsi que l'exactitude à atteindre ?
- ✚ Comment maîtrisez-vous l'aptitude des instruments (l'incertitude de mesure vis à vis de la tolérance sur le produit ?
- ✚ Comment et qui sélectionne les équipements de mesure en conséquence ?
- ✚ Les équipements devant être suivis sont-ils parfaitement identifiés (listing, situation, étiquette) ?
- ✚ Existe-t-il des procédures de gestion des équipements de mesure ?
- ✚ Qui est responsable de la gestion des équipements de mesure ?
- ✚ Existe-t-il un planning de suivi des instruments de mesure dans le temps ?
- ✚ Comment mettez-vous en œuvre un instrument neuf ?
- ✚ Existe-t-il une procédure de réception des instruments neufs ?
- ✚ Les fiches de vie sont-elles tenues à jour ?
- ✚ Les instruments dits "critiques" sont-ils périodiquement étalonnés ou vérifiés ?

Rôle d'une Fonction Métrologique

- + Avez-vous défini des conditions de manutention, de protection et de stockage des équipements de mesure et des étalons ?
- + Existe-t-il des procédures de maintenance et des enregistrements de cette maintenance (préventive ou corrective) ?
- + Si des équipements de mesure sont fournis par le client, sont-ils suivis de façon particulière ?
- + Comment les utilisateurs sont-ils informés des vérifications ou des étalonnages des équipements de mesure ?
- + Le personnel utilisateur des équipements de mesure est-il formé à l'utilisation de ceux-ci et comment ?
- + Existe-t-il des enregistrements des formations à l'utilisation des équipements de mesure ?
- + Comment sont formés les personnels qui étalonnent ou vérifient les équipements de mesure ?

Rôle d'une Fonction Métrologique

- + Comment évaluez-vous les incertitudes d'étalonnage ou de vérification ?
- + Comment sont suivies les mises à jour des documents de référence et des normes ?
- + Procédez-vous à une qualification des logiciels et supports informatiques destinés à votre instrumentation ?
- + Avez-vous une gestion informatisée de votre parc d'équipements de mesure ? Quel logiciel ? Existe-t-il une documentation technique ?

Sommaire

- Contexte et enjeux liés à la métrologie
- Définitions et organisation de la métrologie
- Notions de vocabulaire spécifique à la métrologie
- Notions d'incertitude de mesure
- Déclaration de conformité
- Rôle d'une « Fonction Métrologique »
- Normes et références

Normes et références

Les normes de base

- **NF ISO/CEI GUIDE 99 (août 2011) : Vocabulaire international de métrologie - Concepts fondamentaux et généraux et termes associés (VIM)**
- **NF ISO/CEI GUIDE 98-3 (juillet 2014) : Incertitude de mesure - Partie 3 : guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM)**
- **NF EN ISO 10012** : Exigences pour les processus et les équipements de mesure (sept. 2003) remplace **NF X 07 010**
- **NF ISO 5725-1 à 6** : Application de la statistique - Exactitude (justesse et fidélité) des résultats et méthodes de mesure (1994)
- **FD ISO Guide 30** : Termes et définitions utilisés en rapport avec les matériaux de référence (nov. 95)
- **NF EN ISO/CEI 17025** : Prescriptions générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais (sept. 2005)
- **NF EN ISO/CEI 15189** : Laboratoires d'analyse de biologie médicale – Exigences particulières concernant la qualité et les compétences

Normes et références

Des normes de base aux fascicules de documentation Afnor (normes d'organisation)

- *FD X 07-012 :* Certificat d'étalonnage
- *FD X 07-013 :* Critères de choix Vérification/Étalonnage
- *FD X 07-014 :* Optimisation des intervalles de confirmation métrologique
- *FD X 07-015 :* Raccordement des résultats de mesure aux étalons
- *FD X 07-016 :* Établissement des procédures d'étalonnage et vérification
- *FD X 07-018 :* Fiche de vie des équipement de mesure
- *FD X 07-019 :* Relations clients/fournisseurs en métrologie
- *FD X 07-021 :* Estimation et utilisation de l'incertitude
- *FD X 07-022 :* Utilisation de l'incertitude de mesure
- *FD X 07-028 :* Estimation des incertitudes de mesures de température
- *FD X 07-029-1-2 :* Procédure d'étalonnage et de vérification des sondes et thermomètres à résistance

Normes et références

Bibliographie

- MFQ, Métrologie dans l'entreprise. Outil de la qualité, 1995.
- CTI, la Métrologie en PME-PMI. Pratique de la mesure dans l'industrie, 1996.
- Étalons et unités de mesure, Mai 1996, édité par le BNM.
- Métrologie - Gérer et maîtriser les équipements de mesure.
- Qualité dans les laboratoires d'étalonnage et d'essais. G. REVOIL - AFNOR
- Estimer l'incertitude de mesure - Perruchet et Priel – AFNOR – Explication de 2 méthodes à employer pour estimer les incertitudes de mesure.
- Aide à la démarche pour l'estimation et l'utilisation des résultats de mesure et d'essais X 07-021.
- Alain Marchal : « Matériaux de référence. Étalonnage en chimie analytique et essais de matériaux », Techniques de l'Ingénieur / Mesures et contrôle (Article R52 : 1994).
- Un roman sur mesure – C. BINDI – AFNOR – Mise en place d'une fonction métrologie orientée sur le domaine dimensionnel.
- Incertitudes de mesure - Tome 1 Applications concrètes pour les étalonnages Auteurs : Abdérafi CHARKI | Denis Louvel | Eliane RENAOT | André Michel | Teodor TIPLICA | Editeur : EDP SCIENCES année 2012.
- Incertitudes de mesure - Tome 2 Applications concrètes pour les essais Auteurs : Abdérafi CHARKI | Patrick GÉRASIMO | Mohamed EL MOUFTARI | Yvon MORI et Christian SAUVAGEOT | Editeur : EDP SCIENCES Année 2012.